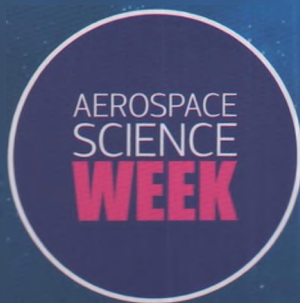




19-я 19th
Международная International
конференция Conference
«Авиация “Aviation
и космонавтика» and Cosmonautics”

Тезисы Abstracts



Москва, МАИ Moscow, MAI

2020

**19-я Международная конференция
«Авиация и космонавтика»**

**19th International Conference
“Aviation and Cosmonautics”
(AviaSpace-2020)**

**Тезисы
Abstracts**

Москва, МАИ
23-27 ноября 2020 г.

Moscow, MAI
23-27 November, 2020

УДК 629.7
ББК 94.3 39.52 39.62я43
Д25

19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика».
23-27 ноября 2020 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо»,
2020. – 980 с.

19th International Conference “Aviation and Cosmonautics” (AviaSpace-
2020).

23-27 November, 2020. Moscow. Abstracts. – Publishing house “Pero”, 2020.
– 980 p.

ISBN 978-5-00171-704-1

В сборник включены доклады, представленные в Организационный комитет конференции в электронном виде.

Конференция проводится при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 20-08-22077).

Abstracts, which were sent to Organizing Committee in electronic form, are included in the digest.

The Conference is supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 20-08-22077).

ISBN 978-5-00171-704-1

© Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), 2020

© Moscow Aviation Institute
(National Research University), 2020

Организатор

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Организационный комитет

Равикович Ю.А., проректор по научной работе МАИ, председатель

Шемяков А.О., проректор по стратегическому развитию МАИ, сопредседатель

Дин Вучинич, профессор Брюссельского свободного университета, сопредседатель

Шервуд Кристофер, профессор Наньянского технологического университета, сопредседатель

Пин Лу, профессор университета Сан-Диего, сопредседатель

Эдвард Кроули, профессор авионавтики, астронавтики и инженерных систем Массачусетского технологического института, сопредседатель

Франко Бернелли, профессор Политехнического университета Милана, сопредседатель

Сьпало К.И., генеральный директор ФГУП «ЦАГИ», сопредседатель

Долгов О.С., директор дирекции института № 1 «Авиационная техника» МАИ, руководитель направления «Авиационные системы»

Монахова В.П., директор дирекции института № 2 «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки» МАИ, руководитель направления «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки»

Следков Ю.Г., директор дирекции института № 3 «Системы управления, информатика и электроэнергетика» МАИ, руководитель направления «Системы управления, информатика и электроэнергетика»

Кирдяшкин В.В., директор дирекции института № 4 «Радиоэлектроника, инфокоммуникации и информационная безопасность» МАИ, руководитель направления «Информационно-телекоммуникационные технологии авиационных, ракетных и космических систем»

Алифанов О.М., заведующий кафедрой 601 «Космические системы и ракетостроение» МАИ, руководитель направления «Ракетные и космические системы»

Кривилёв А.В., директор дирекции института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» МАИ, руководитель направления «Робототехника, интеллектуальные системы и авиационное вооружение»

Крылов С.С., директор дирекции института № 8 «Информационные технологии и прикладная математика» МАИ, руководитель направления «Математические методы в аэрокосмической науке и технике»

Беспалов А.В., директор дирекции института № 11 «Материаловедения и технологий материалов» МАИ, руководитель направления «Новые материалы и производственные технологии в области авиационной и ракетно-космической техники»

Новиков С.В., директор дирекции института № 5 «Инженерная экономика и гуманитарные науки» МАИ, руководитель направления «Экономика и менеджмент предприятий аэрокосмического комплекса»
Лунёва Н.С., заместитель начальника отдела по связям с общественностью МАИ, учёный секретарь

Программный комитет

- Равикович Ю.А.**, проректор по научной работе МАИ, председатель
- Шемяков А.О.**, проректор по стратегическому развитию МАИ, сопредседатель
- Дин Вучинич**, профессор Брюссельского свободного университета, сопредседатель
- Шервуд Кристофер**, профессор Наньянского технологического университета, сопредседатель
- Пин Лу**, профессор университета Сан-Диего, сопредседатель
- Эдвард Кроули**, профессор Массачусетского технологического института, сопредседатель
- Франко Бернелли**, профессор Политехнического университета Милана, сопредседатель
- Сыпало К.И.**, генеральный директор ФГУП «ЦАГИ», сопредседатель
- Терентьев В.В.**, начальник Научно-организационного управления МАИ
- Замковой А.А.**, начальник управления научных программ и проектов МАИ
- Веремеенко К.К.**, начальник научно-исследовательского отделения института № 3 «Системы управления, информатика и электроэнергетика» МАИ
- Грушин И.А.**, заместитель директора по научной работе института № 11 «Материаловедения и технологий материалов» МАИ
- Долгов О.С.**, директор дирекции института № 1 «Авиационная техника» МАИ
- Заговорчев В.А.**, начальник научно-исследовательского отделения института № 6 «Аэрокосмический» МАИ
- Кириллов А.А.**, начальник научно-исследовательского отделения института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» МАИ
- Зубанова С.Г.**, профессор кафедры И-11 «Иностранный язык для аэрокосмических специальностей» МАИ
- Ионов А.В.**, заместитель директора института № 2 «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки» МАИ
- Кирдяшкин В.В.**, директор дирекции института № 4 «Радиоэлектроника, инфокоммуникации и информационная безопасность» МАИ
- Кириллин А.В.**, старший преподаватель кафедры «Технология испытаний и эксплуатации» МАИ
- Крылов С.С.**, директор дирекции института № 8 «Информационные технологии и прикладная математика» МАИ
- Сёмин А.П.**, ассистент кафедры 512 «Управление персоналом» МАИ

Organizer

Moscow Aviation Institute (National Research University)

Organizing Committee

Prof. Yury Ravikovich, MAI vice-rector for scientific affairs, Chairman

Alexander Shemiakov, MAI vice-rector for strategy development, Co-chairman

Prof. Dean Vučinić, Vrije University Brussel, Co-chairman

Prof. Sherwood Christopher, Nanyang Technological University, Co-chairman

Prof. Ping Lu, University of San Diego, Co-chairman

Prof. Edward Crawley, Massachusetts Institute of Technology, Co-chairman

Prof. Franco Bernelli, Polytechnic University of Milan, Co-chairman

Prof. Kirill Sypalo, Central Aerohydrodynamic Institute, Co-chairman

Oleg Dolgov, Director of the MAI Institute No. 1 “Aircraft Engineering”, Head of direction “Aviation Systems”

Veronika Monakhova, Director of the MAI Institute No. 2 “Power Installations of Aviation, Rocket and Space Systems”, Head of direction “Power Installations of Aviation, Rocket and Space Systems”

Yury Sledkov, Director of MAI Institute No. 3 “Control Measuring and Computing Systems and Complexes and Onboard Power Generation”, Head of direction “Control Measuring and Computing Systems and Complexes and Onboard Power Generation”

Vladimir Kirdyashkin, Director of MAI Institute No. 4 “Radioelectronics, Infocommunications and Information Security”, Head of direction “Information and Telecommunication Technologies of Aviation, Rocket and Space Systems”

Prof. Oleg Alifanov, Head of the MAI department 601 “Space Systems and Rocket Engineering”, Head of direction “Rocket and Space Systems”

Alexander Krivilev, Director of MAI Institute No. 7 “Robotics and Intelligent Systems”, Head of direction “Robotics, Intelligent Systems and Aircraft Armament”

Sergey Krylov, Director of the MAI Institute No. 8 “Information Technology and Applied Mathematics”, Head of direction “Mathematical Methods in Aerospace Science and Technology”

Alexander Beshpalov, Director of the MAI Institute No. 11 “Material Science and Material Technology”, Head of direction “New Materials and Production Technologies in the Areas of Aviation, Rocket and Space Technique”

Sergey Novikov, Director of the MAI Institute No. 5 “Business Engineering and Humanities”, Head of direction “Economics and Management at Enterprises of Aerospace Complex”

Nadezhda Luneva, Deputy head of the MAI PR-department, Scientific secretary

Program Committee

- Prof. Yury Ravikovich**, MAI Vice-rector for scientific affairs, Chairman
Alexander Shemiakov, MAI Vice-rector for strategy development, Co-chairman
Prof. Dean Vučinić, Vrije University Brussel, Co-chairman
Prof. Sherwood Christopher, Nanyang Technological University, Co-chairman
Prof. Ping Lu, University of San Diego, Co-chairman
Prof. Edward Crawley, Massachusetts Institute of Technology, Co-chairman
Prof. Franco Bernelli, Polytechnic University of Milan, Co-chairman
Prof. Kirill Syalo, Central Aerohydrodynamic Institute, Co-chairman
Vadim Terentyev, Head of the MAI Scientific and Organizational Department
Andrey Zamkovoy, MAI Head of Scientific Programs and Projects Department
Oleg Dolgov, Director of the MAI Institute No. 1 “Aircraft Engineering”
Ivan Grushin, Deputy Director for Scientific Affairs of the MAI Institute No. 11 “Materials Science and Technology”
Aleksey Ionov, Deputy Director of the MAI Institute No. 2 “Aviation, Rocket Engines and Power Installation”
Konstantin Veremeenko, Head of the Research Department of the MAI Institute No. 3 “Control Measuring and Computing Systems and Complexes and Onboard Power Generation”
Vladimir Kirdyashkin, Director of the MAI Institute No. 4 “Radioelectronics, Infocommunications and Information Security”,
Vladimir Zagovorchev, Head of the Research Department of the MAI Institute No. 6 “Aerospace Engineering”
Alexey Kirillov, Head of the Research Department of the MAI Institute No. 7 “Robotic and Intelligent Systems”,
Andrey Kirillin, senior lecturer of the MAI Department “Technology of Testing and Operation”
Sergey Krylov, Director of the MAI Institute No. 8 “Information Technologies and Applied Mathematics”
Anastasia Semina, assistant of the MAI Department 512 “Personnel Management”
Svetlana Zubanova, Professor of the MAI Department I-11 “Foreign Language for Aerospace Specialties”

Оглавление

1. АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	10
1.1. МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ»	36
2. АВИАЦИОННЫЕ, РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ.....	122
2.1. МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ И КРИОГЕНИКА В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ»	205
3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ИНФОРМАТИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	245
4. ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВИАЦИОННЫХ, РАКЕТНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	331
5. РАКЕТНЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....	366
6. РОБОТОТЕХНИКА, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И АВИАЦИОННОЕ ВООРУЖЕНИЕ	418
7. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ.....	444
7.1. МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»	514
8. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	640
8.1. МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ».....	726
9. ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ ПРЕДПРИЯТИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	810
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	960

Contents

1. AVIATION SYSTEMS.....	10
1.1. INTERNATIONAL CONFERENCE “UNMANNED AERIAL VEHICLES”.....	36
2. AVIATION AND ROCKET ENGINES AND POWER INSTALLATIONS	122
2.1. APPLIED SUPERCONDUCTIVITY AND CRYOGENICS IN POWER SYSTEMS» (ASCPS-2020).....	205
3. CONTROL SYSTEMS, INFORMATICS AND POWER ENGINEERING	245
4. INFORMATION AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY OF AVIATION, ROCKET AND SPACE SYSTEMS.....	331
5. ROCKET AND SPACE SYSTEMS.....	366
6. ROBOTICS, INTELLIGENT SYSTEMS AND AIRCRAFT ARMAMENT	418
7. MATHEMATICAL METHODS IN AEROSPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY.....	444
7.1. INTERNATIONAL CONFERENCE “MATHEMATICAL MODELLING”	514
8. NEW MATERIALS AND PRODUCTION TECHNOLOGY IN THE FIELD OF AVIATION, ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY	640
8.1. INTERNATIONAL CONFERENCE “COMPOSITE MATERIALS AND CONSTRUCTIONS”	726
9. ECONOMICS AND MANAGEMENT AT ENTERPRISES OF AEROSPACE COMPLEX	810
INDEX	960

1. Авиационные системы

1. Aviation Systems

К вопросу многокритериальной оптимизации комплексной системы тепловой защиты высокоскоростного ЛА

Аронов Д.И., Клягин В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Интерес к авиационной технике, скорость полета которой превышает показатели современных сверхзвуковых самолетов, требует решения проблемы теплового нагружения в комплексной постановке. Это означает, что в составе таких аппаратов должна быть предусмотрена специальная система тепловой защиты, представляющая собой сочетание пассивных теплозащитных материалов, охлаждаемых панелей обшивки, термоэлектрогенерирующих устройств и других возможных способов уменьшения тепловых нагрузок на планер.

Данная система требует оптимизации технических параметров в целях получения конструкции наименьшей массы. При этом, поскольку система тепловой защиты является совокупностью принципиально разных по принципу действия элементов, к ней необходимо применять схемы многокритериальной оптимизации. Схемы могут представлять собой следующую совокупность действий:

1. С использованием библиотек материалов, типов топлив и хладагентов проводится цикл расчетов для получения параметризованных зависимостей характеристик элементов системы теплозащиты.

2. Полученные значения характеристик поступают в блок расчета тепловых потоков к элементам системы. В конечном итоге, формируется множество (база данных) рассмотренных вариантов каждого элемента системы тепловой защиты.

3. Далее наполненная база данных проходит процедуру первого этапа оптимизации с использованием заранее заданного вида функции оптимальности и собственных (локальных) критериев. Компоненты системы, значения функции которых удовлетворяют выбранному диапазону, в конечном итоге, собираются в новую базу данных и учитываются на следующем этапе алгоритма – поиска оптимальных вариантов всей системы.

4. Оптимизация комплексной системы тепловой защиты в составе ЛА проводится аналогичными методами, которыми был выполнен отбор наилучших вариантов её отдельных элементов. Здесь возможно использовать уже только один критерий, например, массу одного квадратного метра конструкции, занятого системой теплозащиты.

On the issue of multicriteria optimization of the integrated thermal protection system of a high-speed aircraft

Aronov D.I., Klyagin V.A.

MAI, Moscow, Russia

The interest in aviation technology, the flight speed of which exceeds the performance of modern supersonic aircraft, requires a solution to the problem of thermal loading in an integrated setting. This means that such devices should include a special thermal protection system, which is a combination of passive heat-shielding materials, cooled skin panels, thermoelectric devices and other possible ways to reduce the thermal load on the airframe.

This system requires optimization of technical parameters in order to obtain the lowest weight structure. At the same time, since the thermal protection system is a set of elements that are fundamentally different in terms of the principle of operation, it is necessary to apply multi-criteria optimization schemes to it. Schemes can represent the following set of actions:

1. Using libraries of materials, types of fuels and refrigerants, a calculation cycle is carried out to obtain parameterized dependencies of the characteristics of the elements of the thermal protection system.

2. The obtained values of the characteristics enter the block for calculating heat fluxes to the system elements. Ultimately, a set (database) of the considered options for each element of the thermal protection system is formed.

3. Further, the filled database goes through the first stage of optimization using a predetermined form of the optimality function and its own (local) criteria. The system components, the function values of which satisfy the selected range, are ultimately collected in a new database and taken into account at the next stage of the algorithm – the search for optimal options for the entire system.

4. Optimization of the integrated thermal protection system as part of the aircraft is carried out by similar methods that were used to select the best options for its individual elements. Here it is possible to use only one criterion, for example, the mass of one square meter of the structure occupied by the thermal protection system.

Современный облик системы мониторинга состояния самолета в гражданской авиации

Богатая М.В., Акимова Ю.С., Красова С.И., Красникова Р.В.

ГосНИИАС, г. Москва, Россия

В докладе рассмотрены системы мониторинга технического состояния зарубежных производителей для воздушных судов таких, как Airbus 380, Boeing 787, Gulfstream и предложен взгляд на современный облик системы мониторинга состояния самолета (ACMS – airplane condition monitoring system) применительно к ВС, разрабатываемым отечественной промышленностью.

ACMS – это система мониторинга как технического состояния самолета, так и его летных характеристик, которая контролирует и записывает параметрические данные самолета, связанные с его техническим обслуживанием, функционированием, ремонтом и с отслеживанием тенденций изменения состояния самолета.

Система мониторинга состояния самолета является частью бортовой системы технического обслуживания. В отличие от системы технического обслуживания, которая локализует и регистрирует отказы и неисправности, произошедшие на борту самолета, ACMS на основании параметрических данных позволяет прогнозировать проблемы, которые могут привести к отказным состояниям.

В комплексе бортового оборудования современных самолетов ACMS реализуется по технологии интегрированной модульной авионики в блоках бортовой вычислительной системы в виде функционального программного обеспечения.

Современные функциональные требования, предъявляемые к ACMS: сбор и обработка данных, отслеживание параметров самолета, создание отчета по определенному событию в течение определенного периода времени, передача отчета на заданное устройство вывода (терминал, канал передачи данных на землю), возможность модификации в бортовом ПО самолета параметров, используемых в алгоритмах мониторинга, а также отображение в реальном времени на терминале сигналов и параметров по запросу оператора – обслуживающего персонала.

Для того чтобы удовлетворить требованиям различных авиакомпаний, ACMS необходимо иметь возможность настройки функциональности. Настройка ACMS производится посредством отдельного файла модифицируемой информации.

The modern appearance of the airplane condition monitoring system in civil aviation

Bogataya M.V., Akimova Y.S., Krasova S.I., Krasnikova R.V.

GosNIIAS, Moscow, Russia

The report considers systems for monitoring the technical condition of aircrafts such as Airbus 380, Boeing 787, Gulfstream, and offers a view of the modern appearance of the airplane condition monitoring system (ACMS) for aircrafts designed by Russian aviation industry.

ACMS is an airplane and flight performance monitoring system. It monitors and records selected airplane data related to airplane maintenance, performance, troubleshooting, and trend monitoring.

The airplane condition monitoring system is part of the onboard maintenance system. ACMS, unlike a central maintenance system (CMS) that isolates and records faults and failures on board an aircraft, allows predicting problems that may lead to fault conditions, based on parametric data.

In the on-board equipment of modern aircraft ACMS is implemented using the integrated modular avionics technology in the units of the airborne computer systems as functional software.

Modern functional requirements for ACMS: data acquisition and processing, tracking aircraft parameters, generating a report over specified periods of time referenced to a specific event, provide the capability to route any report to specific output devices (terminal, Datalink), provide onboard programmability to modify parameters used in monitoring algorithms, displaying signals and parameters in real time on the MAT by technical personnel request.

In order to correspond the different aircraft manufacturers' requirements the ACMS needs to be able to configure the functionality. ACMS configuration is performed using a separate modifiable information file.

Численное моделирование влияния перфорации рабочей части АДТ на аэродинамические характеристики вертолетного профиля на критических углах атаки

Бунтов М.Ю., Makeev P.V., Ignatkin Ю.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из основных режимов полета вертолета является полёт с горизонтальной скоростью. Лопasti несущего винта (НВ) при этом работают в переменном поле скоростей, что вызывает их периодическое маховое движение. В результате наблюдается нестационарное обтекание, а углы атаки профиля лопасти могут достигать критических значений. Аэродинамические характеристики (АХ) профиля, как правило, исследуются экспериментальным путем. Для этого отсек крыла с исследуемым профилем устанавливается в аэродинамическую трубу (АДТ) так, чтобы его торцевые поверхности упирались в ее стенки. Для исследований нестационарных АХ профиля используются механизмы, обеспечивающие его циклическое колебание по заданному закону. Получаемые в результате АХ профиля используются в различных методах расчета АХ НВ.

Рабочая часть АДТ, в которой устанавливается модель отсека крыла, в большинстве случаев имеет относительно небольшие размеры. При моделировании обтекания профиля на больших углах атаки модель устанавливается под соответствующими углами относительно потока. При этом возможно возникновение эффекта «запирания», когда модель перекрывает большую часть сечения рабочей части АДТ, что значительно затрудняет или делает невозможным проведение эксперимента. Для борьбы с эффектом «запирания» наиболее часто применяется перфорация стенок сопла и рабочей части АДТ. При этом изучение влияния различной перфорации на результаты эксперимента при различном соотношении размеров рабочей части АДТ и размеров модели представляет большой практический интерес.

Представленная работа посвящена исследованию указанного вопроса на базе методов вычислительной аэрогидродинамики (CFD). Разработана математическая модель АДТ в 2D-постановке, обеспечивающая возможность расчета как стационарных, так и нестационарных АХ профиля с учетом влияния рабочей части АДТ с различной перфорацией стенок. Рассмотрен вертолетный профиль SC1095 с предварительной валидацией результатов расчетов для случая работы в свободном потоке. На базе модели АДТ проведены расчеты стационарных и нестационарных АХ профиля. Сделаны выводы о влиянии перфорации стенок АДТ на обтекание вертолетного профиля на критических углах атаки. Создан задел, позволяющий перейти к разработке полнофункциональной "цифровой модели" АДТ в 3D-постановке. Такая модель позволит уточнить особенности течения в рабочей части АДТ с учетом особенностей исследуемой модели и определять поправки, для пересчета аэродинамических характеристик на натурные условия.

Numerical simulation of the wind tunnel test section perforation influence on the helicopter blade airfoil aerodynamics at critical angles of attack

Buntov M.Y., Makeev P.V., Ignatkin Yu.M.

MAI, Moscow, Russia

One of the main flight regimes of the helicopter is flying at a horizontal speed. The main rotor (MR) blades operate in a variable velocity field, which causes their periodic flapping motions. As a result, unsteady flow is observed, and the angles of attack of the blade airfoil can reach critical

values. The aerodynamic characteristics of the airfoil are usually studied experimentally. To do this, the wing section with the studied airfoil is installed in the wind tunnel (WT) so that its tip surfaces rest against wind tunnel walls. To study the airfoil unsteady aerodynamics, mechanisms are used to ensure its cyclic oscillation according to a specified law. The resulting airfoil aerodynamic characteristics (AC) are used in various methods for calculating the AC of the MR.

The test section (TS) of the WT, where the model is installed, in most cases has a relatively small size. When modeling the flow around an airfoil at high values of angles of attack, the model is installed at the appropriate angles relative to the flow axis. In this case, the WT "locking" effect may occur, when the model overlaps most part of the TS area. This significantly complicates the experiment or makes it impossible. To avoid the "locking" effect, perforation of the TS walls is most often used. At the same time, the study of the effect of different perforation values on the experiment results at different proportions of the WT TS and the size of the model is of great practical interest

This paper considers the study of this issue on the basis of CFD methods. The mathematical model of the WT in 2D representation has been developed. The model provides both steady and unsteady AC of the airfoil aerodynamics, taking into account the influence of the WT TS with different wall perforation values. Aerodynamics of the SC1095 helicopter blade airfoil with preliminary validation for the case of free stream conditions is considered. Calculations of steady and unsteady AC of the airfoil are made on the basis of the developed WT model. Conclusions about the effect of perforation of the WT TS walls on the flow around the airfoil at critical angles of attack are made. Obtained scientific basis allows proceeding to the development of "digital model" of WT in 3D representation. This model will allow refining the flow characteristics in the WT TS, taking into account the model features, and determining the corrections for recalculating the AC to the full-scale conditions.

Обеспечение безопасности пилотирования по криволинейной траектории

Бутенко В.Г., Тяглик М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время города подкрадываются к границам аэропортов все ближе. В связи с этим выделяют несколько проблем – повышенный риск для граждан, повышенный шум на местности и загрязнения, выбросами авиационных двигателей.

В связи с этим, выделяют несколько необходимых решений – сокращение предпосадочных прямых и построение траектории облета рельефа местности.

Решения, о которых сказано ранее – подразумевают под собой маневрирование на низкой высоте – близ или над аэропортом/аэродромом и уход на второй круг.

В связи с этим в данной работе, рассматривается обеспечение безопасности при заходе на посадку по криволинейной траектории.

Сперва была построена подобная кривая с учетом всех трех координат положений точек, а также углы положения ЛА в пространстве.

Далее были определены средства отображения подобной информации для пилота.

За стандарт были приняты бортовые средства – это комплексный пилотажный прибор, на котором отображаются курсоглиссандные планки, крен тангаж.

В этом случае рассогласование программной траектории было показано на эти планки, но в этом случае пилот сталкивается с высоким порядком астатизма при управлении по продольной координате и при управлении боковой координатой.

Вторым, разработанным в МАИ, вариантом стало – построение трехмерного коридора с прогнозным окном, где бы летчик визуальное видел этот коридор и как он изменяется дальше в пространстве, чтобы он смог работать на опережение.

Для того, чтобы проводить исследование на стенде, по оценке эффективности, нужно было составить математическую модель – была взята линейная модель пространственного движения самолета на этапе посадки.

При проведении экспериментов регистрировалось множество полетных параметров с шагом 0,01 секунды – это координаты, углы, скорости, отклонение рычагов управления.

В качестве критериев определения точности пилотирования были выбраны такие характеристические показатели, как мат ожидание и дисперсия отклонения от программной

траектории управления, расходов рычагов управления, углов положения, отклонение от заданных скоростей.

В конце концов, для определения повышения точности, а как следствия – безопасности, была произведена интегральная оценка среднеквадратичного отклонения величин

Было получено, что точность выдерживания координат увеличилась в 9,7 раз, скорости полета в 2,4 раза, вертикальной скорости в 5,7 раза, нагрузка летчика уменьшилась в 2 раза, точность посадки возросла в 1,8 раза, а скорости посадки в 2,4 раза.

Ensuring the safety of piloting along a curved trajectory

Butenko V.G., Tyaglik M.S.

MAI, Moscow, Russia

Nowadays cities are creeping closer to airport borders. So, several problems are distinguished - an increased risk for citizens, increased noise on the ground and pollution by emissions from aircraft engines.

Several necessary solutions are identified - the reduction of pre-landing straight lines and the construction of a trajectory for flying around the terrain.

The solutions mentioned earlier - involve maneuvering at low altitude – near or over the airport/airfield and go-around.

Because of that, in this work, talking about ensuring safety piloting when approaching a landing along curved trajectory.

First, a similar curve was built with all three coordinates of the points positions, angles of aircraft position in space.

Further, the means of displaying such information for the pilot were determined.

Onboard systems were taken as the standard – this is a complex flight instrument on which course-glide paths, roll, pitch are displayed.

In this case, the mismatch of the programmed trajectory was shown on these bars, but in this case the pilot is faced with a high order of astatism.

The second one, developed at the Moscow Aviation Institute, was the construction of a sky tunnel with a forecast window, where the pilot would visually see this tunnel, and how it changes further in space so that he can work ahead of the curve.

To conduct research on the stand, according to the assessment of the effectiveness, needs to draw up a mathematical model – a linear model of the spatial motion of the aircraft was taken at the landing stage.

During the experiments, many flight parameters were recorded with a step of 0,01 seconds – these are coordinates, angles, speeds, deviation of control levers.

As criteria for determining the accuracy of piloting, we chose such characteristic indicators as mathematic expectation and variance of deviation from the programmed control trajectory, control levers flow rates, position angles, and deviation from preset speeds.

In the end, in order to determine the increase in accuracy, and as a consequence – safety, an integral assessment of the root-mean-square deviation from the trajectory, position angles, costs of control levers, speeds, landing points was made.

It was found that the accuracy of keeping the coordinates increased by 9,7 times, the flight speed by 2,4 times, the vertical speed by 5,7 times, the pilot's load decreased by 2 times, the landing accuracy increased by 1.8 times, and the landing speed 2,4 times.

Способы снижения риска человеческого фактора при попадании самолёта в интенсивную атмосферную турбулентность

Воронка Т.В., Тяглик М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе были рассмотрены данные более 1200 летных происшествий, анализ которых показывает, что основным или сопутствующим фактором являлось попадание самолёта в интенсивную атмосферную турбулентность, в частности, вихревой след от впереди летящего самолета.

Попадание в вихри особенно опасно на этапе посадки, поскольку оно приводит к резкому изменению углового положения самолёта, скорости полета и высоты. При дефиците времени

и отсутствии запаса высоты парирование этих возмущений может привести к человеческим жертвам или к повреждениям авиационной техники.

В этой связи в работе разрабатывается система отображения прогнозной информации, снижающая вероятность возникновения аварийной ситуации из-за человеческого фактора.

При пролете самолетом ветровых возмущений, обусловленных турбулентным вихревым следом от ранее пролетевшего самолёта, происходит резкое изменение крена самолёта. Так, при пересечении вихря под углом 30 градусов к глиссаде, диапазон изменения угла крена от -7 до 5 градусов, а при пересечении вихря под углом 10 градусов – диапазон изменения угла крена от -19 до 26 градусов. Увеличение массы самолета в 18 раз приводит к увеличению разбросов отклонений от глиссады в $1,4$ раза.

В том случае, если вихревой след располагался на малом расстоянии от торца ВПП, то вероятность принятия летчиком решения на выполнение посадки составляет всего 8% . Использование прогнозной системы отображения информации совместно с предупреждением наземных служб увеличивает эту вероятность до 62% . При этом во всех исследовавшихся вариантах использование предложенной индикации позволяет добиться того, что отклонения от глиссады не превышают $2-3$ метров.

Описанные выше преимущества использования предложенной системы отображения информации подтверждают целесообразность ее использования для парирования негативных последствий попадания самолета в ветровые возмущения, обусловленные турбулентным вихревым следом от пролетевшего самолета.

Means of Reducing the Human Factors Risks in High Atmospheric Turbulence Encounters

Voronka T.V., Tyaglik M.S.

MAI, Moscow, Russia

The work considers data on more than 1200 flight occurrences, analysis of which shows that the primary or a causal factor was encountering high atmospheric turbulence, particularly a wake vortex from a previously passing aircraft.

A vortex encounter can be especially dangerous at the landing stage, as it leads to a sudden change in aircraft attitude, airspeed and altitude. Time constraints and insufficient altitude margin when counteracting such disturbances may lead to human casualties or aircraft damage.

In this connection, the work develops a predictive information display system, reducing the probability of a human factors-related incident.

When passing wind disturbances caused by wake vortex turbulence from a previously passing aircraft, a sharp change in roll occurs. So, when crossing a vortex at a 30 degree angle to the glide slope, the range of roll angle change is -7 to 5 degrees, whereas when crossing a vortex at a 10 degree angle, the range of roll angle change is -19 to 26 degrees. Increasing the aircraft weight by 18 times leads to the spread of glide slope deviations increasing by 1.4 times.

In case of a wake vortex being located close to the runway threshold, the probability of a pilot making the decision to land is only 8% . Using the predictive display, in conjunction with warning the ground services, raises this probability to 62% . Moreover, in all of the studied variants, using the proposed indication allows to achieve glide slope deviations that do not exceed $2-3$ meters.

The advantages of the proposed display described above attest to the viability of using it for counteracting the negative effects of encountering wind disturbances caused by wake vortex turbulence from a previously passing aircraft.

Исследование влияния управляемых интерцепторов на гидродинамические характеристики самолета-амфибии

Дикий С.В., Аржанов А.И., Меньяло М.Ю., Соколянский В.П.

ЦАГИ, г. Королев, Россия

Гидродинамические интерцепторы – это нормальные к днищу лодки пластины, имеющие высоту около 1% ширины лодки по скулам. За счет торможения потока перед интерцепторами создается область повышенного давления, центр давления смещается назад, подъемная сила днища повышается. В результате углы дифферента самолета несколько уменьшаются, уменьшается и смоченная поверхность днища, гидродинамическое качество возрастает. Управление высотой выдвигания интерцепторов в зависимости от скорости

движения самолета позволяет активно управлять гидродинамическими характеристиками, оптимизируя их с целью сокращения дистанций разбега и пробега по воде.

С начала 1990-х годов на отечественных скоростных судах с глиссирующими днищами все чаще применяют разработанные в ЦАГИ управляемые гидродинамические интерцепторы. Управление высотой интерцепторов по скорости хода позволяет оптимизировать углы дифферента и повысить гидродинамическое качество. Использование активного управления гидродинамическими характеристиками за счет интерцепторов на лодочных самолетах представляется крайне сложной задачей, т.к. в отличие от глиссирующих судов, где диапазон рассматриваемых возможных нагрузок на воду и центровок достаточно узкий, гидродинамическая подъемная сила и площадь контакта лодки самолета с водой в процессе разбега и пробега по воде меняются в очень широких пределах.

Данная статья посвящена экспериментальному исследованию влияния изменения высоты гидродинамических интерцепторов на гидродинамические характеристики гидросамолета в опытовом бассейне ЦАГИ. Обнаружены особенности изменения гидродинамических характеристик, вызванные влиянием интерцептора на форму следа, формирующегося на свободной поверхности позади сечения, на котором он установлен. Это влияние имеет существенное значение в случае применения интерцептора на гидросамолете, так как в процессе взлета и посадки на воде происходит взаимодействие следа с кормовой частью корпуса. В многочисленных теоретических и экспериментальных работах, посвященных исследованию следа за глиссирующим телом, это влияние не рассматривалось. Также в статье предложена математическая модель, описывающая влияние интерцепторов на геометрию следа и параметры движения схематизированной модели гидросамолета по воде, которая хорошо согласуется с результатами модельных опытов.

Study of the influence of controlled interceptors on the hydrodynamic characteristics of an amphibious aircraft

Dikiy S.V., Arzhanov A.I., Menyaylo M.Y., Sokolyansky V.P.
TsAGI, Korolev, Russia

Hydrodynamic interceptors are plates normal to the bottom of the boat, having a height of about 1% of the width of the boat along the cheekbones. By braking the flow in front of the interceptors, an area of increased pressure is created, the center of pressure is shifted back, and the bottom lift is increased. As a result, the trim angles of the aircraft are slightly reduced, the wetted surface of the bottom is also reduced, and the hydrodynamic quality increases. Controlling the height of the interceptor extension depending on the speed of the aircraft allows you to actively control the hydrodynamic characteristics, optimizing them in order to reduce the distance of take-off and run through the water.

Since the beginning of the 1990s, Russian high-speed vessels with planing bottoms have increasingly used controlled hydrodynamic interceptors developed by TSAGI. Controlling the height of the interceptors by speed allows you to optimize the trim angles and improve the hydrodynamic quality. The use of active control of hydrodynamic characteristics due to interceptors on boat aircraft is extremely difficult, since in contrast to planing vessels, where the range of possible water loads and centering is quite narrow, the hydrodynamic lift and the contact area of the aircraft boat with water during the take-off and run through the water vary very widely.

This article is devoted to an experimental study of the effect of changes in the height of hydrodynamic interceptors on the hydrodynamic characteristics of a seaplane in the TSAGI experimental pool. Features of changes in hydrodynamic characteristics caused by the influence of the interceptor on the shape of the trace formed on the free surface behind the section on which it is installed are found. This effect is significant in the case of using an interceptor on a seaplane, since during take-off and landing on water, the track interacts with the aft part of the hull. This effect has not been considered in numerous theoretical and experimental studies of the planing body trace. The article also offers a mathematical model describing the effect of interceptors on the geometry of the track and the parameters of movement of a schematized model of a seaplane on water, which is in good agreement with the results of model experiments.

Оптимизация характеристик рычагов управления их интеграция с системой управления высокоавтоматизированного летательного аппарата

Ефремов Е.В., Ефремов А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Традиционно задача обеспечения наилучших пилотажных характеристик летательного аппарата и точности пилотирования решается путем синтеза систем управления. В настоящей работе показано, что можно достичь дополнительного улучшения точности путем рационального типа рычага управления и оптимизации его характеристик, таких как градиент загрузки пружины, демпфирование. В качестве различных типов рычагов управления использовались центральный и боковой. Для каждого из них использовались два типа управляющего сигнала: пропорционально перемещению рычага (Displacement Sensing Control (далее рычаг типа DSC)) и пропорционально усилиям, прикладываемому к нему (Force Sensing Control (далее рычаг типа FSC)). Исследования проводились на пилотажном стенде МАИ, оснащенной системой имитации усилий на рычаге управления и позволяющей реализовать управление типа DSC и FSC. В качестве объекта управления использовалась линеаризованная модель вертолета, для которой предварительно выполнен синтез системы управления на базе принципа «обратная динамика». В модели также учтены приводы, описываемые звеном первого порядка с учетом ограничений на максимальную скорость отклонения рулевых поверхностей.

Результаты исследований показали, что наилучшая точность пилотирования достигается при использовании бокового рычага типа FSC по сравнению с традиционным центральным типа DSC. Точность пилотирования при этом улучшается в 1,5-2 раза.

В работе также выявлено, что использование системы управления на базе принципа «обратная динамика» приводит к тому, что потребные скорости отклонения приводов больше располагаемых (в настоящей работе 30 град/с), особенно при использовании боковой ручки. Для предотвращения подобных явлений в работе предложено в тракт управления ввести нелинейный префильтр, математическая модель которого отражает основные свойства привода. Серии экспериментальных исследований показали, что такое решение позволяет обеспечить безопасную работу исполнительных устройств без ухудшения точности пилотирования.

Optimization of inceptors' characteristics and their integration with the flight control system of a highly automated aircraft

Efremov E.V., Efremov A.V.

MAI, Moscow, Russia

Traditionally, the problem of ensuring the best flying qualities of an aircraft and piloting accuracy is solved by synthesizing control systems. In this paper, it is shown that it is possible to achieve an additional improvement in accuracy by rationalizing the type of control stick and optimizing its characteristics, such as spring loading gradient and damping. The different types of control sticks used were the central and side ones. For each of them, two types of control signals were used: one proportional to the displacement of the stick (Displacement Sensing Control (hereinafter referred to as the DSC-type stick)) and proportional to the force applied to it (Force Sensing Control (hereinafter referred to as the FSC-type stick)). The studies were carried out on the MAI flight simulator, equipped with a system stick allowing to simulate forces on the control stick and allowing to implement control of the DSC and FSC types. A linearized helicopter model was used as the control object, for which the synthesis of a control system based on the principle of "inverse dynamics" was previously performed. The model also takes into account the drives described by first-order system with restrictions on the maximum deflection speed of the control surfaces.

Research has shown that the best flying accuracy is achieved when using an FSC-type side stick control in contrast with to a traditional DSC-type center stick. The piloting accuracy improve by 1,5-2 times.

The work also revealed that the use of a control system based on the principle of "inverse dynamics" leads to the fact that the required actuator deflection rates of the drives are greater than those available (in this work, 30 deg/s), especially when using the side stick. To prevent such

phenomena in the work, it is proposed to introduce a nonlinear prefilter into the control loop, the mathematical model of which reflects the main properties of the actuator. A series of experimental studies have shown that such a solution allows safe operations of actuators without compromising piloting accuracy.

Физическая сущность непреднамеренного разворота одновинтового вертолета на режимах малых скоростей полета

Ивчин В.А.

АО «НЦВ Миль и Камов», п. Томилино, Россия

Авиационные происшествия одновинтовых вертолетов, связанных с явлением левого вращения, периодически возникают как при их эксплуатации в России, так и за рубежом. Причина их возникновения исследуется много лет, но до настоящего времени нет однозначного объяснения его возникновения.

Автор данной работы неоднократно участвовал в расследованиях авиационных происшествий с одновинтовыми вертолетами, связанными с левым вращением вертолета. Было установлено, что в 95% случаев, в которых система объективного контроля записывала действия летчика, в том числе и записи путевого управления, летчики не выполняют необходимых действий для выхода из возникшей ситуации. Причина такого бездействия также требовала своего объяснения.

Специалистами ЦАГИ был разработан и построен экспериментальный стенд для исследований характеристик рулевых винтов при их принудительном вращении на специальной, вращающейся балке. Эти исследования позволили получить изменения тяговых и мощностных характеристик рулевого винта вертолета при наличии вращения вертолета. Полученные результаты были использованы для тестирования математической модели рулевого винта на пилотажных стендах.

В МГТУ ГА, по инициативе и при участии автора данной работы, В. Ефимовым была спроектирована и создана установка по исследованию описываемого явления на основе свободно вращающейся модели вертолета в аэродинамической трубе, которая позволила определить влияние направления и величины скорости ветра на возникновение непреднамеренного разворота одновинтового вертолета. Специалистами МАИ под руководством Ю. Игнаткина, был выполнен ряд работ по теоретическим исследованиям вихревого влияния на рулевой винт. Эти исследования показали структуру вихревого следа от несущего винта при различных сочетаниях скорости ветра и его направления.

Эти исследования позволили усовершенствовать математическую модель рулевого винта и провести исследования по определению физической сущности непреднамеренного разворота вертолета, результаты которого представлены в докладе.

The physical nature of an unintentional turn of a single-rotor helicopter at low flight speeds

Ivchin V.A.

National Helicopter Center Mil&Kamov, Tomilino, Russia

Accidents of single-rotor helicopters associated with the phenomenon of left rotation periodically occur both during their operation in Russia and abroad. The reason for their occurrence has been studied for many years, but until now, there is no unambiguous explanation of its occurrence. The author of this work has repeatedly participated in the investigations of aviation accidents with single-rotor helicopters associated with the left rotation of the helicopter. It was found that in 95% of cases the actions of the pilot, including the track control records, the pilots did not take the necessary actions to get out of the situation. The reason for this inaction also required an explanation.

TsAGI specialists have developed and built an experimental stand for studying the characteristics of tail rotor screws when they are forced to rotate on a special rotating beam. These studies made it possible to obtain changes in the traction and power characteristics of the tail rotor of the helicopter in the presence of rotation of the helicopter. The results obtained were used to test the tail rotor mathematical model on aerobatic stands.

At the MSTU CA on the initiative and with the participation of the author of this work, V. Efimov designed and created an installation for studying the described phenomenon based on a

freely rotating helicopter model in a wind tunnel, which made it possible to determine the influence of the direction and magnitude of wind speed on the occurrence of an unintentional turn of a single-rotor helicopter.

Specialists of the MAI Institute under the leadership of Yu. Ignatkin have carried out a number of works on theoretical studies of the vortex effect on the tail rotor. These studies have shown the structure and intensity of the main rotor wake for various combinations of wind speed and direction.

These studies made it possible to improve the mathematical model of the tail rotor and to carry out studies to determine the physical nature of the unintentional turn to left.

Характеристика основных принципов разработки интегрированных бортовых систем обеспечения безопасности полетов воздушных судов, включая системы контроля функционального состояния оператора

Коптев Д.С.

ЮЗГУ, г. Курск, Россия

Существенной задачей государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы» является повышение уровня безопасности полетов воздушных судов (ВС), решение которой заключается в организации непрерывного мониторинга технического состояния воздушного судна непосредственно в процессе полета, а также проведении постоянного диагностического контроля функционального состояния здоровья оператора при выполнении им профессиональных функций. Техническое решение изложенных задач видится в разработке интегрированной бортовой системы диагностики и прогнозности технического состояния ВС, объединенной с системой текущего контроля функционального состояния оператора.

Подобная система должна обеспечивать сбор данных с датчиков состояния узлов и агрегатов ВС, их обработку на борту с установлением динамических корреляционных связей между значениями параметров во всех фазах полета, автоматическое сравнение полученных данных с предельными значениями и передачу на наземные диспетчерские пункты диагностической информации средствами авиационной связи. Система должна строиться по модульному принципу с открытой архитектурой для максимально простой адаптации на различных типах ВС. В системе необходимо предусмотреть два режима работы: рабочий и встроенного контроля (ВСК). В первом режиме изделие обеспечивает выполнение всех базовых функций. Во втором – осуществляет непрерывный контроль собственной работоспособности с вероятностью обнаружения неисправности не ниже 0,9.

В состав подобной интегрированной системы входят: блок диагностики и прогнозности (БДИП), блок сбора диагностической информации (БСДИ), блок беспроводной связи (ББС), блок контроля состояния оператора (БКСО). Первый обеспечивает преобразование, сбор и передачу по каналу Ethernet сигналов вибродатчиков, установленных на контролируемых узлах и элементах ВС. Второй представляет собой вычислительное устройство, обеспечивающее вычисление диагностических показателей по заложенным алгоритмам обработки. При критическом превышении предельно допустимых значений параметров блок БДИП выдает аварийный сигнал. Блок ББС предназначен для организации информационного обмена с наземным пунктом. В БКСО, в соответствии с рекомендациями центра авиационной и космической медицины, диагностированию в реальном масштабе времени должны подвергаться следующие физиологические показатели здоровья пилота: уровень периферической сатурации крови, частоты пульса и дыхания, вариабельность сердечного ритма.

Description of the main principles of development of integrated on-board systems for ensuring the safety of aircraft flights, including systems for monitoring the functional state of the operator

Koptev D.S.

SWSU, Kursk, Russia

An essential task of the state program of the Russian Federation "Development of the aviation industry for 2013-2025" is to increase the level of flight safety of aircraft (AC), the solution of

which is to organize continuous monitoring of the technical condition of the aircraft directly during the flight, as well as to conduct continuous diagnostic monitoring of the functional state of health of the operator in the performance of his professional functions. The technical solution of the stated tasks is seen in the development of an integrated on-board system for diagnostics and prognostics of the technical condition of the aircraft, combined with a system for monitoring the functional state of the operator.

Such a system should ensure the collection of data from the state sensors of aircraft components and assemblies, their processing on board with the establishment of dynamic correlations between the values of the parameters in all phases of the flight, automatic comparison of the obtained data with the limit values and transmission of diagnostic information to ground control centers by means of aviation communication. The system should be built on a modular principle with an open architecture for the simplest possible adaptation on various types of aircraft. The system must provide for two modes of operation: working and built-in control (VSC). In the first mode, the product provides all basic functions. In the second, it continuously monitors its own performance with the probability of detecting a malfunction not less than 0.9.

The structure of such an integrated system includes: a diagnostics and prognostication unit (ODIP), a diagnostic information collection unit (BCDI), a wireless communication unit (BBS), an operator's state control unit (BKSO). The first one provides conversion, collection and transmission via Ethernet of signals from vibration sensors installed on monitored units and aircraft elements. The second is a computing device that calculates diagnostic indicators using embedded processing algorithms. If the maximum permissible values of the parameters are critically exceeded, the ODIP unit issues an alarm signal. The BBS unit is designed to organize information exchange with a ground point. In the BCS, the following physiological parameters of the pilot's health are diagnosed in real time: the level of peripheral blood saturation, pulse and respiration rates, and heart rate variability.

**Условия и ограничения, которые необходимо учитывать при постановках
оптимизационных задач и формировании целевых функций в задачах оптимизации
профилей крыльев МБПЛА при малых числах Рейнольдса**

Кочурова Н.И., Пархаев Е.С., Семенчиков Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время одной из актуальных проблем аэродинамики малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА) является улучшение их аэродинамических характеристик (АДХ) и летно-технических характеристик. Независимо от типа МБПЛА его аэродинамика имеет свою специфику: обтекание частей МБПЛА происходит при малых числах Рейнольдса ($Re \leq 200\ 000$). Силы вязкости в данном случае преобладают над силами инерции, что в итоге приводит к образованию на несущих поверхностях МБПЛА ламинарно-турбулентного перехода с отрывным пузырьком. Наличие отрывного пузырька приводит к росту коэффициента лобового сопротивления, вызывает нелинейное изменение АДХ профиля крыла и ухудшение летно-технических характеристик всего ЛА в целом. Одним из способов улучшения АДХ профиля при малых числах Рейнольдса является поиск его оптимальной формы. При оптимизации профиля МБПЛА важно учитывать не только специфику изменения АДХ при малых числах Рейнольдса, но и учитывать дополнительные условия и ограничения, учитывающие изменение числа Рейнольдса при маневрировании МБПЛА.

Целью данного исследования является определение указанных условий, а также особенностей формирования целевых функций в задачах оптимизации профилей крыльев МБПЛА при низких числах Рейнольдса.

В работе найдены дополнительные условия, связанные с изменением полетного числа Рейнольдса при выполнении БПЛА вертикального взлета и посадки, а также при маневрировании в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На основании анализа этих режимов полета МБПЛА было установлено, что, независимо от вида маневра, необходимо учитывать связи числа Рейнольдса и коэффициента подъемной силы. Маневр, выполняемый МБПЛА, определяет вид и сложность функциональной зависимости между числом Рейнольдса и коэффициентом подъемной силы.

Conditions and restrictions that must be considered when setting optimization problems and forming objective functions in the problems of optimizing UAV wing airfoil for small Reynolds numbers

Kochurova N.I., Parkhaev E.S., Semenchikov N.V.
MAI, Moscow, Russia

Currently, one of the most important problems in the aerodynamics of small-sized unmanned aerial vehicles (UAV) is to improve their aerodynamic characteristics and performance. Regardless of the type of UAV, its aerodynamics has its own specifics: the flow around the parts of the UAV occurs at small Reynolds numbers ($Re \leq 200\,000$). In this case, the viscous forces prevail over the inertial forces, which ultimately leads to the formation of a laminar-turbulent transition with a separation bubble on the carrying planes of the UAV. The presence of a separation bubble leads to an increase in the drag coefficient, causes a nonlinear change in the aerodynamic characteristics of the wing airfoil and a deterioration in performance of the entire UAV. One of the ways to improve the aerodynamic characteristics of the airfoil at small Reynolds numbers is to find its optimal shape. When optimizing the UAV airfoil, it is important to consider not only the specifics in aerodynamic characteristics for small Reynolds numbers, but also additional conditions and restrictions.

The purpose of this study is to determine these conditions, as well as the features of the formation of objective functions in the problems of optimizing the wing airfoils of UAV at low Reynolds numbers.

In this paper, additional conditions associated with changes in the flight Reynolds number when performing vertical take-off and landing were found, as well as when maneuvering in the horizontal and vertical planes. Based on the analysis of these flight modes, it was found that, regardless of the type of maneuver, it is necessary to take into account the relationship between the Reynolds number and the lift coefficient. Maneuver performed by UAV determines the type and complexity of the functional relationship between the Reynolds number and the lift coefficient.

Исследование аэродинамики велосипедного колеса

Кудрявцев Д.А., Володин И.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Аэродинамика велосипеда оказывает огромную роль на достижения спортсмена. Любое преимущество перед соперниками может привести к лучшим результатам. Расчет аэродинамики велосипеда с помощью CFD пакетов сложен, требует большой вычислительной мощности и не всегда соответствует действительности. Однако измерения, сделанные в аэродинамических трубах, максимально приближены к реальным условиям.

Но так как натурные исследования аэродинамики колеса сопряжены со значительными трудностями, предлагается методика стендовых испытаний. Подобные испытания могут охватывать ряд направлений. Аэродинамический эксперимент с использованием разработанного стенда позволяет определять лобовое сопротивление переднего колеса и боковую силу, влияющую на траекторию движения велосипедиста. Проведение эксперимента не требует высокой квалификации. Разработка стенда для определения аэродинамических характеристик велосипедного колеса позволяет сравнивать теоретические измерения с данными близкими к реальным условиям. Полученные данные будут использоваться конструкторами для создания и совершенствования профиля велосипедного колеса. Наличие аэродинамических труб позволяет проводить испытания не только отдельных частей велосипеда, но и позволяет рассмотреть аэродинамические характеристики системы велосипед-гонщик.

Стенд состоит из перевернутой вилки для закрепления колеса. Под вилкой находится приводной валик, передающий крутящий момент с двигателя на колесо. Регулировка оборотов двигателя позволяет плавно изменять скорость вращения. Наличие экрана имитирует движение по земле. Механизм поворота обеспечивает необходимые углы обдува. Стенд спроектирован для аэродинамической трубы «Т-1 МАИ». Программа испытаний включает в себя весь диапазон скоростей и углов поворота колеса, которые встречаются во время велогонки. Последующая модернизация стенда позволит решать более широкий спектр задач.

Данная разработка направлена на улучшение аэродинамических характеристик системы велосипед-гонщик для обеспечения большей эффективности спортсмена.

Bicycle wheel aerodynamics study

Kudryavtsev D.A., Volodin I.M.

MAI, Moscow, Russia

Bicycle aerodynamics play a huge role in the athlete's achievement. Any advantage over rivals can lead to better results. The aerodynamics calculation of a bicycle using CFD packages is complicated, requires a lot of computing power and does not always correspond to reality. However, the calculations, which are made in wind tunnels, are close to real conditions.

The method of bench tests seems to be the most possible, because field research of wheel aerodynamics are associated with significant difficulties. Such tests can cover a number of areas. An aerodynamic experiment with using the originally developed stand allows determining the front wheel drag and lateral force affecting the cyclist's trajectory. The experiment does not require high qualifications. The development of a stand for determining the aerodynamic characteristics of a bicycle wheel makes it possible to compare theoretical measurements with data close to real conditions. Designers to create and improve the rim of a bicycle wheel will use these findings. The presence of wind tunnels allows to test individual parts of a bicycle and to consider the aerodynamic characteristics of the bicycle-racer system.

The stand consists of an inverted wheel fork. Under the fork is a drive roller that transmits torque from the engine to the wheel. Adjusting an engine speed allows to change smoothly a speed of rotation. The presence of a horizontal screen simulates movement on the ground. The rotation mechanism provides the necessary blowing angles. The stand is designed for the T-1 MAI wind tunnel. The test program includes the entire range of speeds and wheel angles that occur during bicycle races. The subsequent modernization of the stand will allow solving a wider range of tasks.

This development is aimed at improving the aerodynamic characteristics of the bike-rider system to ensure greater efficiency of the athlete.

Численное исследование крутого снижения несущего винта в области режимов «вихревого кольца» на базе нелинейной вихревой модели

Макеев П.В., Игнаткин Ю.М., Шомов А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Изучение аэродинамических характеристик несущего винта (НВ) на режимах крутого снижения, включая режимы «вихревого кольца» (ВК), является важной задачей, поскольку она связана с безопасностью полета вертолета. Конечной целью таких исследований является определение границ режимов ВК в скоростных координатах V_x - V_y и включение их в руководство летной эксплуатации в качестве особой области.

Аэродинамика несущего винта на режимах ВК имеет ряд особенностей, таких как: увеличение мощности, потребляемой НВ при постоянной тяге; пульсации тяги и крутящего момента. Кроме того, режимам ВК свойственны особые картины обтекания винта и форма вихревого следа.

Исследования режимов ВК путем летных испытаний сопряжены с повышенной опасностью. Модельные испытания сопряжены большими затратами и техническими проблемами, среди которых трудности обеспечения малых скоростей обдувки и исключение влияния границ потока на винт. Экспериментальные исследования аэродинамики винта на режимах ВК, носят единичный и ограниченный характер. При этом сравнение различных результатов исследований показывает их значительную зависимость от параметров винта и условий испытаний. Поэтому в каждом случае желательно проводить отдельные исследования. В последние годы с учетом развития вычислительной техники и методов численного моделирования такая возможность становится реальной.

Представленное исследование сфокусировано на аэродинамических характеристиках НВ вертолета Ми-8 на режимах висения и крутого снижения с углами атаки винта $\alpha_B=90-30^\circ$, включая область ВК. Исследование выполнено на базе разработанной авторами нелинейной вихревой модели. Получены и проанализированы распределенные и суммарные аэродинамические характеристики, формы вихревого следа НВ, картины обтекания. На

основе анализа полученных данных построена область режимов ВК в координатах V_x - V_y . Используются пять различных критериев ВК: рост потребного угла установки лопастей, рост потребной мощности НВ, рост среднего значения индуктивной скорости НВ; величина пульсаций тяги и крутящего момента НВ. Данные расчетов сопоставлены с имеющимися данными расчетов и экспериментов других авторов и демонстрируют применимость использованной модели для расчета и анализа режимов ВК НВ вертолета. Полученные результаты могут значительно дополнить имеющиеся данные экспериментальных и расчетных исследований аэродинамики НВ на режимах крутого снижения в области ВК.

Numerical study of the main rotor steep descent modes in the VRS area based on the free wake model

Makeev P.V., Ignatkin Yu.M., Shomov A.I.
MAI, Moscow, Russia

The study of main rotor (MR) aerodynamics in steep descent modes including VRS (vortex ring state) area is among the most important tasks of main rotor aerodynamics, since it is related to helicopter flight safety. The final goal of the study is, as a rule, to define VRS area boundaries in V_x - V_y coordinates (horizontal and vertical flight speed components) and included in flight operation manual as a special dangerous area of helicopter flight.

Rotor aerodynamics in VRS area has a number of features. They primarily include rise of power consumed by a rotor with constant thrust and rotor thrust and torque pulsations. Besides, they include rotor wake shapes and flowing pictures typically for VRSs.

Any research of VRSs by flight tests implies a certain degree of hazard. Experiments involves technical problems related to ensuring of low flow velocity values and avoidance of airflow boundaries impact on the main rotor operation. Thus, experimental studies of rotor aerodynamics in VRS area are isolated and limited. The comparison of different study results shows a significant dependency of the results on a rotor geometry and testing conditions. Therefore, separate tests need to be done in every individual case. This possibility has become real in recent years due to development of computational technologies and numerical methods.

The research presented has been focused on aerodynamic characteristics of the Mi-8 helicopter MR in the hover and steep descent modes at rotor angles of attack $\alpha_R = 90$ - 30° , including VRS area. The research is based on the original free wake model developed by authors. Total and distributed aerodynamic characteristics, rotor wake shapes and airflow line pictures have been calculated and analyzed. Based on the results analysis the VRS area in the V_x - V_y coordinates has been defined. There have been used five criteria of VRS area borders: growth of the required blade pitch angle; growth of rotor power with a fixed rotor thrust; increase of the averaged value of the induced velocities and value of the rotor thrust and torque pulsations amplitudes. The calculation results have been compared with experimental and calculations data of other authors and indicate sufficient reliability and applicability of used free wake model for calculation and analysis of the VRS.

The results presented can also significantly supplement the available results of experimental and computational studies of the MR operation at steep descent modes in the VRS area.

Выбор пути развития беспилотных комплексов

Малясов А.А.

АО «НЦВ Миль и Камов», п. Томилино, Россия

Развитие авиации находится на первом этапе создания целого семейства от аппаратов до пилотажных комплексов различной глубины автоматизации систем. В настоящее принято два основных подхода по проектированию беспилотных систем. Первое направление идет по пути развития беспилотников, где человеческий фактор полностью исключен из управления летающей техникой, а второй идет по пути сохранения пилотирования человеком, но с обеспечением снижения уровня сложности управления летательным аппаратом. С развитием ключевых технологий, достигнув приемлемого уровня готовности и безопасности, оба пути соединяться в едином направлении, которое позволит опционально выбирать разные уровни управления и контроля.

Примером второго пути развития беспилотных систем являются проекты американской компании Сикорский. Проекты заключаются в модернизация серийных вертолетов с применением матричных автономных технологий. Примером технологии служит демонстратор, построенный на базе вертолёта модели S-92В. Путь построения от опционально-пилотируемого вертолета в полностью беспилотный вертолет возможно посредством модернизации серийного пилотируемого вертолета в два этапа. На первом этапе, используются имеющиеся серийные изделия и оборудование, с минимальной переделкой для обеспечения создания варианта вертолета, предназначенного для полетов, как с летчиком, так и в беспилотном режиме – опционально-пилотируемый вариант. Это позволит отработать беспилотный вариант вертолета, проверить правильность выполнения логики работы под контролем летчика-испытателя. На втором этапе, при установке необходимого обновленного оборудования, создать вариант полностью беспилотного варианта вертолета и подтвердить полученные при отработке первого этапа результаты. Данный путь развития обеспечит сокращение эксплуатационных расходов и повышении конкурентоспособности по сравнению с другими винтокрылыми аппаратами, а также позволит повысить автономность, что обеспечит снижение требований к пилотированию и повысит востребованность летательных аппаратов на коммерческом рынке.

Choosing a path for the development of unmanned systems

Malyasov A.A.

National Helicopter Center Mil&Kamov, Tomilino, Russia

The development of aviation is at the first stage of creating a whole family from vehicles to aerobatic complexes of various levels of automation of systems. Currently, there are two main approaches to the design of unmanned systems. The first direction goes along the path of development of drones, where the human factor is completely excluded from the control of flying equipment, and the second goes along the path of preserving human piloting, but ensuring that the level of complexity of aircraft control is reduced. With the development of key technologies, reaching an acceptable level of availability and safety, both paths are connected in a single direction, which will allow you to optionally choose different levels of management and control.

An example of the second way of development of unmanned systems is the projects of the Sikorsky Company. The projects include the modernization of serial helicopters using matrix autonomous technologies. An example of the technology is a demonstrator based on the S-92B helicopter. The path of construction from an optionally piloted helicopter to a fully unmanned helicopter is possible through the modernization of a serial manned helicopter in two stages. At the first stage, the existing serial products and equipment are used, with minimal alteration to ensure the creation of a helicopter version intended for flights, both with a pilot and in unmanned mode - an optionally piloted version. This will allow you to work out an unmanned version of the helicopter, check the correctness of the logic of the work under the control of the test pilot. At the second stage, when installing the necessary updated equipment, create a fully unmanned version of the helicopter and confirm the results obtained during the first stage. This development path will provide a reduction in operating costs and an increase in competitiveness compared to other rotary-wing vehicles, as well as increase autonomy, which will reduce the requirements for piloting and increase the demand for aircraft in the commercial market.

Выбор параметров крейсерского режима в полете на дальность легкого гражданского самолета с использованием многоцелевого подхода

Маркевич П.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается крейсерский режим полета легкого гражданского самолета в задаче полета на дальность. Под крейсерским режимом понимают режим продолжительного движения летательного аппарата, во время которого выполняется целевая задача – полет на заданную или максимальную дальность. Объектом исследования является легкий гражданский самолет, оснащенный винтомоторной силовой установкой с максимальной взлетной массой не более 5700 кг. Особенность данной задачи заключается в поиске оптимальных параметров путем исследования компромисса между наименьшим расходом

топлива (наивыгоднейший режим) и кратчайшим временем (скоростной режим). В соответствии с требованиями аэронавигационного планирования полета и геометрическими ограничениями крейсерский режим полета рассматривается с постоянной скоростью на заданном эшелоне полета. В задачах динамики полета данный вид крейсерского режима рассматривается как горизонтальный полет, в котором все силы и моменты сбалансированы. Поиск оптимальной скорости и высоты крейсерского режима осуществляется путем минимизации обобщенного показателя потерь расхода топлива и времени. С учётом многоцелевой постановкой задачи данный показатель можно представить, как линейную свертку нормированных частных показателей с заданными весовыми коэффициентами, отражающими субъективное отношение исследователя к данным частным критериям. Показатель потерь рассматривается, с одной стороны, посредством исследования отношения предпочтения между частными показателями и, с другой стороны, посредством отыскания весовых коэффициентов, обеспечивающих единственное решение задачи минимизации показателя потерь. Оптимальная высота крейсерского режима достигается на эшелоне, которому соответствует наименьшее значение показателя потерь. Представленным исследованием автор предлагает метод уменьшения показателя потерь посредством эшелонирования. В работе рассматриваются ограничения в виде области располагаемых высот и скоростей, допустимого диапазона режима работы двигателя (степени дросселирования двигателя) и располагаемой массы топлива. В качестве прототипа объекта исследования используется математическая модель самолета ИЛ-103.

The long-haul flight cruise mode parameters selection of a light civil aircraft by multipurpose system approach

Markiewicz P.

MAI, Moscow, Russia

In the paper is considered the cruise mode of light civilian aircraft in the task of long-haul flight. The cruise mode refers to the mode of long-duration movement of the aircraft, during which the target is a flight to a given or maximum range. The object of the research is a light civil aircraft equipped with a propeller propulsion system with a maximum take-off weight of no more than 5700 kg. The task peculiarity lies in finding optimal parameters by researching the trade-off between the lowest fuel consumption (the best-range mode) and the shortest time (high-speed mode). In accordance with the requirements of aeronautical flight planning and altitude separation, the cruise mode of flight is considered at a constant speed on a given flight altitude. In the flight dynamics tasks, this type of cruise mode is considered as a level flight, in which all forces and moments are balanced. The determination of the optimal speed and altitude of the cruise mode is carried out by minimizing the generalized rate of fuel loss and time loss. Taking into account the multipurpose nature of the task, given rate of loss can be presented as a linear combination of normalized partial losses with specified weight coefficients, which reflect the subjective preference of the researcher to these partial losses. The rate of loss is considered, firstly, by examining the relationship of preference between partial losses and, secondly, by finding weight coefficients that provide the single solution to the problem of minimizing general loss. The optimal altitude of cruise mode is reached on the flight level, which corresponds to the lowest value of the general loss. The author of the study develops a method of reducing the rate of loss by optimal altitude separation. The paper considers limitations in the area of disposable heights and speeds, the allowable range of engine mode (engine throttle ratio) and the disposable mass of fuel. The mathematical model of the IL-103 aircraft is used as a prototype of the research object.

Сравнительное исследование аэродинамики соосного несущего винта на режиме висения на базе вихревой модели и метода URANS

Никитин С.О., Константинов С.Г., Игнаткин Ю.М., Макеев П.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Соосный несущий винт (НВ) на протяжении уже более чем 70 лет является визитной карточкой вертолетов фирмы "Камов". Отсутствие необходимости затрачивать мощность на вращение рулевого винта и ряд других преимуществ соосного НВ позволил соосным вертолетам занять в мировом парке вертолетов свою прочную нишу. В то же время, особые

свойства соосного НВ с жестким креплением лопастей в горизонтальном полете, сделали его основой для технологии ABC (англ. Advancing Blade Concept) впервые воплощенной фирмой Сикорского в демонстраторе скоростного вертолета S-69. С тех пор соосный винт стал основой для многих проектов скоростных вертолетов, что значительно увеличило интерес к данной схеме НВ. Поэтому в последнее время вопрос исследования аэродинамики соосных НВ на различных режимах работы является темой большого количества научных работ и не теряет своей актуальности.

Работа посвящена расчету аэродинамики соосного НВ на режимах висения. Моделирование работы НВ выполнено с применением двух подходов вычислительной гидродинамики CFD (computational fluid dynamics): разработанной авторами нелинейной вихревой модели и метода URANS (Unsteady Reynolds-averaged Navier Stokes equations) с моделью турбулентности "k- ω SST" на базе пакета Ansys Fluent. В результате работы получены и проанализированы: структура вихревого следа за НВ, картины линий тока, поля завихренности и индуктивных скоростей, получены суммарные и распределенные аэродинамические характеристики НВ. Построены поляра винта и определен относительный коэффициент полезного действия на висении. Проанализировано соотношение тяг между верхним и нижним винтами. Исследованы траектории вихрей, сходящих с концов лопастей верхнего и нижнего винтов. Проведено сопоставление результатов расчетов, полученных обоими методами между собой, а также с данными экспериментов и расчетов других авторов. Показано удовлетворительное совпадение данных, подтверждающее достоверность применяемых моделей. Проанализированы основные особенности и возможности практического применения рассмотренных подходов для решения различных задач аэродинамики соосного НВ. Сделан вывод о целесообразности совместного применения рассмотренных методов при решении комплексных задач аэродинамики соосного НВ.

Numerical study of the coaxial main rotor aerodynamics in hover based on the free wake model and the URANS method

Nikitin S.O., Konstantinov S.G., Ignatkin Yu.M., Makeev P.V.
MAI, Moscow, Russia

The coaxial main rotor has been the feature of "Kamov" Company helicopters for more than 70 years. The absence of the power consumption on the rotation of the tail rotor and a number of other advantages of the coaxial main rotor (MR) allowed coaxial helicopters to hold on their own place in the world's helicopter fleet. At the same time, the special features of the coaxial MR scheme in horizontal flight made it the basis for the ABC (advanced blade concept) technology first implemented by the Sikorsky Company in the S-69 high-speed helicopter demonstrator. Since then, the coaxial MR has become the basis for many high-speed helicopter projects, which has significantly increased interest in this aerodynamic scheme of the MR. Therefore, recently the problem of studying the aerodynamics of the coaxial MR in various operating modes has been the subject of a large number of researches and nowadays it does not lose its relevance.

This work is dedicated to the numerical modeling of the coaxial MR aerodynamic characteristics in hover. Modeling was performed using two methods of computational fluid dynamics (CFD): the free wake model developed by authors and the URANS (Unsteady Reynolds-averaged Navier Stokes equations) method with the "k- ω SST" turbulence model based on the Ansys Fluent software package. As a result of work there have been obtained and analyzed the structure of the vortex wake behind MR, flow images, induced velocity and vorticity fields, total and distributed aerodynamic characteristics of the rotors. There were obtained rotor performance and Figure of Merit diagrams. The ratio of thrust between the upper and lower rotor is analyzed. The trajectories of vortices descending from the tips of the upper and lower rotor blades are studied. The results of calculations obtained by both methods are compared with each other, as well as with experimental data and calculations performed by other authors. A satisfactory data match is shown, confirming the reliability of the models used. The main features and possibilities of practical application of the considered numerical methods for solving various tasks of coaxial MR aerodynamics are analyzed. The conclusions about the rationality of joint application of the considered methods in solving complex problems of coaxial MR aerodynamics are made.

Применение в авиации металло-полимерных композиционных материалов на основе титанового сплава

Печенюк В.С., Попов Ю.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Металло-полимерные композиционные материалы (МПКМ) являются перспективными материалами для современной авиационной техники. Они представляют из себя слоистый материал с чередующимися слоями из тонких металлических листов (фольги) и полимерных композиционных материалов. Сочетание металла и полимера в материалах позволяет реализовать трудно достижимые, а иногда и невозможные с точки зрения свойств известных материалов, свойства.

В современных боевых самолетах, в частности беспилотных, необходимо воздержаться от использования в конструкции деталей из стали и увеличить применение алюминиевых и титановых сплавов и полимерных композиционных материалов. Конструкция мотоотсеков выполняется преимущественно из титановых сплавов как внешние обводы, так и внутренний каркас из-за требований к пожаростойкости и высоким эксплуатационных температур в отсеке. По этой причине в качестве обшивки мотоотсека перспективным направлением является применение МПКМ на основе титанового сплава вместо обычных металлических листов. В ФГУП «ВИАМ» в рамках «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»[1] разрабатываются МПКМ системы «титан-углепластик» из титановых сплавов BT23M и BT20, способные сохранять адгезионные способности к препрегам углепластика с теплостойкостью до 200°C.[2]

В 2015 году в филиале ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого» была проведена экспериментальная работа, по оценке возможности изготовления деталей из гибридного слоистого титан-полимерного материала. В результате проведенной в ОКБ Сухого экспериментальной работы была подтверждена возможность изготовления конструкций с использованием титановой фольги и клеевого препрега марки КМКС-4м.175.Т64.55. При этом, благодаря относительно невысоким термическим напряжениям на границе раздела, была достигнута высокая сдвиговая прочность склейки материалов, на 10-20% превышающей аналогичный показатель соединения дюралюминий – стеклопластик. Ко всему прочему МПКМ на 29-45% легче титанового листа, что дает большее преимущество.

Литература:

1. Каблов Е.Н./ Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года». Журнал «Авиационные материалы и технологии» № 1 (34), 2015, с. 3-33.

2. Яковлев А.Л., Ночовная Н.А./ Влияние термической обработки на свойства листов из высокопрочного титанового сплава BT23M. Журнал «Авиационные материалы и технологии» № 4, 2013, с. 8-13.

Application in aviation of metal-polymer composite materials based on titanium alloy

Pechenyuk V.S., Popov Yu.I.
MAI, Moscow, Russia

Metal-polymer composite materials (MPCM) are promising materials for modern aviation technology. They are a laminated material with alternating layers of thin metal sheets and polymer composite materials. The combination of metal and polymer in materials makes it possible to realize properties that are difficult to achieve, and sometimes impossible from the point of view of the properties of known materials.

In modern combat aircraft, in particular unmanned aircraft, it is necessary to refrain from using steel parts in the structure and to increase the use of aluminum and titanium alloys and polymer composite materials. The design of the motor compartments is mainly made of titanium alloys, both the outer lines and the inner frame due to the requirements for fire resistance and high operating temperatures in the compartment. For this reason, as a cladding for the motorcycle compartment, a promising direction is the use of MPCM based on titanium alloy instead of conventional metal sheets. In FSUE "VIAM" within the framework of "Strategic directions for the development of materials and technologies for their processing for the period up to 2030" [1], MPCM systems are

being developed "titanium-carbon fiber" from titanium alloys VT23M and VT20, capable of maintaining adhesion to CFRP prepregs with heat resistance up 200°C. [2]

In 2015, the Sukhoi Design Bureau, carried out experimental work to assess the possibility of manufacturing parts from a hybrid layered titanium-polymer material. As a result of the experimental work carried out at the Sukhoi Design Bureau, the possibility of manufacturing structures using titanium foil and adhesive prepreg grade KMKS-4m.175.T64.55 was confirmed. At the same time, due to the relatively low thermal stresses at the interface, a high shear strength of materials gluing was achieved, which is 10-20% higher than that of the duralumin – fiberglass joint. In addition, MPKM is 29-45% lighter than titanium sheet, which gives a greater advantage.

References:

1. Kablov E.N./ Innovation developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». Journal Aviacionnye materialy i tehnologii №1, 2015, s.3-33.

2. Jakovlev A.L., Nochovnaja N.A./ Effect of heat treatment on the properties of sheets of high strength titanium alloy VT23M. Journal Aviacionnye materialy i tehnologii №4, 2013, s.8-13.

Исследование аэродинамических характеристик парашютов повышенной устойчивости Плюсков С.Ю.

АО «НИИ парашютостроения», г. Москва, Россия

Устойчивости парашютов придается особое значение со многих точек зрения: недостаточная устойчивость спасательных и десантных парашютов может привести к травмам при приземлении, тормозных парашютов – к усложнению управления самолетом во время пробега, стабилизирующих парашютов к полному выходу всей системы из строя. Знание этих обстоятельств и расширение области применения парашютов, вызванное прогрессом авиационной техники, привели к необходимости создания конструкций парашютов с высокой устойчивостью.

Доклад посвящен исследованиям ряда форм куполов парашютов, как типовых, так и перспективных. Цель работы – изыскание новых принципов создания парашютов повышенной устойчивости на основе анализа результатов численных и экспериментальных исследований куполов различных форм.

В работе предложено расширить понятие устойчивости парашюта. Традиционно считалось, что парашют является устойчивым, если он способен гасить маятниковые колебания при снижении системы груз+парашют. Это утверждение предложено дополнить обязательным учетом способности системы сохранять заданную траекторию движения при нейтральном куполе вне зависимости от изменения массы полезной нагрузки. Для десантных систем повышение этого рода устойчивости парашютов приводит к существенному увеличению кучности приземления десантников и уменьшению вероятности схождения парашютистов в воздухе. Анализ общедоступных материалов по работе таких парашютных систем как: T-11 (США), С-400 (Испания) и LLP Mk1 (Великобритания) показывает, что именно расширенное понятие устойчивости взято за основу современного подхода к проектированию иностранных десантных ПС, так это поликонические парашюты.

В работе приводятся результаты численного моделирования куполов: парашюта типа Т-11, полусферического, четвертьсферического и поликонического. На основе анализа этих результатов была предложена гипотеза о том, что уменьшение интенсивности вихреобразования в следе приводит к повышению устойчивости снижения парашютов. Результаты численного моделирования обтекания поликонического купола подтвердили правильность выдвинутой гипотезы.

Также для подтверждения этого предположения был пошит модельный парашют специальной поликонической формы. Была проведена его экспериментальная проверка, которая подтвердила хорошую устойчивость и высокие аэродинамические характеристики такого парашюта. В работе представлены обобщенные результаты стрельбовых и летных экспериментов с модельной ПС.

Study of the aerodynamic characteristics of parachutes with improved stability

Ploskov S.Yu.

Institute of Parachute Design, Moscow, Russia

The stability of parachutes is of particular importance from many points of view: insufficient stability of rescue and landing parachutes can lead to injuries upon landing, braking parachutes – to complication of aircraft control during the run, stabilizing parachutes to complete failure of the entire system. The knowledge of these circumstances and the expansion of the field of application of parachutes, caused by the progress of aviation technology, led to the need to create high-stability parachute designs.

The report is devoted to the study of a number of parachute canopy shapes, both typical and advanced. The aim of the work is to find new principles for creating parachutes with increased stability based on the analysis of the results of numerical and experimental studies of canopies of various shapes.

The paper proposes to expand the concept of parachute stability. Traditionally, it was believed that a parachute is stable if it is capable of damping pendulum vibrations when the system weight + parachute descends. It is proposed to supplement this statement with the obligatory consideration of the system's ability to maintain a given trajectory of movement with a neutral canopy, regardless of the change in the payload mass. For landing systems, an increase in this kind of stability of parachutes leads to a significant increase in the accuracy of the landing of paratroopers and a decrease in the likelihood of parachutists converging in the air. An analysis of publicly available materials on the operation of such parachute systems as: T-11 (USA), S-400 (Spain) and LLP Mk1 (Great Britain) shows that it is the expanded concept of stability that is taken as the basis of the modern approach to the design of foreign troops parachutes, so these are polyconic parachutes.

The results of numerical modeling of canopies are presented. Based on the analysis of these results, a hypothesis was proposed that a decrease in the intensity of vortex formation in the wake leads to an increase in the stability of the parachute descent. The results of numerical simulation confirmed the correctness of the hypothesis.

In addition, to confirm this assumption, a model parachute of a special polyconic shape was sewn. Its experimental verification was carried out, which confirmed the good stability and high aerodynamic characteristics of such a parachute. The paper presents the generalized results of shooting and flight experiments with the modeling parachute system.

Проектирование современной системы выливного авиационного прибора для сброса огнегасящей жидкости с военно-транспортного самолета Ил-76

Прокопенко Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

За последние 5 лет только на территории Российской Федерации огнем была охвачена территория общей площадью более 18 миллионов гектар, нанеся ущерб в 165 миллиардов рублей. В современном мире с постоянно меняющимися погодными условиями, важно не только максимально эффективно бороться с огнем за достаточно короткие сроки, но и регулярно проводить разведывательные мероприятия в лесной местности, замеряя и поддерживая достаточный уровень влаги, который не будет давать огню распространяться на огромные территории.

Цель работы – усовершенствование отдельных модулей существующего выливного авиационного прибора ВАИ-2, который широко применяется при тушении лесных пожаров на военно-транспортном самолете Ил-76.

Предлагается изменить методику сброса воды с помощью ВАИ-2. Вместо механического способа сброса воды, за счет открывания створок выливного прибора с помощью члена экипажа, предлагается вывести отдельную компьютерную программу, которая автоматически будет управлять сбросом огнетушащей жидкости. Данная программа автоматически рассчитывает, когда, с каким расходом и за какое количество времени максимально эффективно осуществить сброс.

Основными входными параметрами для расчёта сброса воды являются:

1. Площадь возгорания.
2. Направление и скорость ветра.

3. Скорость полета самолета.

4. Высота полета самолета.

Внедрение данной программы позволит в разы сократить энергозатратность вылетов авиации за счет экономии топлива и расхода огнетушащего состава.

В ходе работы были выполнены следующие этапы:

1. Разработана гидравлическая система управления сбросом воды из выливного прибора с обратной связью по расходу для различных типов блоков питания и видов исполнительных механизмов.

2. Проведен анализ нагрузок на исполнительный механизм и затвор водоналивного прибора и в качестве основной системы для исследования рассмотрен автономный привод с гидрозамком, дросселирующим распределителем и блоком питания в виде насосной станции постоянной подачи с регулятором реле давления.

3. Разработана математическая модель системы регулирования, алгоритм вычисления расхода воды в зависимости от угла атаки самолета, уровня свободной поверхности и давления на срезе затвора и его угла поворота.

Литература:

1. Пугачев Ю.Н., Прокопенко Д.А. «Применение авиационной техники в целях ликвидации лесных пожаров». Общероссийский журнал «Полет» 2020. №9. С. 32 – 39.

2. Матвеевко А.М. «Системы оборудования ЛА».

3. Башта Т.М. «Гидравлические приводы летательных аппаратов».

Design of a modern spray tank of an aircraft for the discharge of fire-extinguishing liquid from military transport aircraft Il-76

Prokopenko D.A.

MAI, Moscow, Russia

During the last 5 years, over 18 million hectares of forestlands in Russia have been caught in fire, resulting in loss of 165 milliard rubles. In a modern world with constantly changing weather conditions it is not only important to fight fire effectively but to hold regular investigating operations over forests to check and maintain humidity level enough to stop fire from spreading to big territories.

The aim of this research work is to modernize and upgrade some of the features of an existing spray tank VAP-2, which is widely used in extinguishing forest fires on Il-76.

It is recommended to change the method of discharging the water with VAP-2. Instead of mechanical discharge of water, when a spray tank is activated by a crew member, it is suggested to create a computer program which will automatize the process of discharging fire extinguishing liquid. This program automatically calculates when and how much of water should be discharged to make the process effective.

The main input parameters for calculating water discharge are:

1. The fire area.
2. Wind flow direction and speed.
3. The flight speed of the aircraft.
4. Flight altitude of the aircraft.

Implementation of this program will significantly reduce the energy consumption of flights by saving fuel and fire extinguishing liquid.

During the research, the following stages were completed:

1. A hydraulic system of water discharge from a spray tank with flow feedback for various types of power supplies and types of actuators.

2. We analysed the loads on the actuator and the shutter of a water-filling device. An autonomous drive with a hydraulic lock, a throttling distributor and a power supply unit in the form of a constant flow pumping station with a pressure switch regulator is considered as the main system for the study.

3. A mathematical model of the control system, an algorithm for calculating the water flow rate depending on the angle of attack of the aircraft, the level of the free surface and the pressure on the shutter section and its angle of rotation.

References:

1. Pugachev Y.N., Prokopenko D.A. "The application of aircraft in eliminating forest fires". All-Russia magazine "Polyot" 2020. №9. P. 32-39.
2. Matveenko A.M. "Aircraft equipment systems".
3. Bashta T.M. "Hydraulic drives of aircraft".

Проектирование, постройка и лётные испытания лёгкого самолёта с электрическим двигателем

Сычёв А.В., Бальясный К.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из перспективных направлений в лёгкой авиации являются самолёты, использующие в основе своей силовой установки электрический двигатель. Применение электрического двигателя ведёт к особенностям лётных и технических характеристик самолёта к принципиальному изменению высотно-скоростных характеристик силовой установки и воздушного винта, массово-инерционных, лётно-технических и динамических характеристик, транспортной эффективности. Также конструкция и компоновка самолёта имеет свои особенности.

Особое значение имеет работа по созданию летающего образца самолёта такого типа. Эта работа проведена группой инженеров и студентов. Разработана силовая установка с электрическим двигателем и одноместный, лёгкий самолёт, которые являются объектом исследования.

Большая часть исследований проводилась на испытательном стенде силовой установки. Испытательный стенд позволяет получить все электрические параметры двигателя, температуры агрегатов, тягу воздушного винта и мощность с использованием моментного приспособления. В результате тестов получена оптимальная конфигурация силовой установки.

Было проведено проектирование планера. Сделаны расчёты на прочность. С применением компьютерных программ проведены аэродинамические расчёты отдельных агрегатов и всего самолёта. В результате проведённой проектной работы выпущена конструкторская документация.

Далее была разработана и изготовлена технологическая оснастка. Были изготовлены отдельные агрегаты и произведена общая сборка самолёта. Проводились наземные тесты силовой установки непосредственно на самолёте.

По разработанной программе лётных испытаний произведены пробежки и несколько полётов.

Все системы самолёта работали без замечаний. Электрическая силовая установка отработала без отказов.

В результате работы по электрическому самолёту получен практический опыт эксплуатации и ценные данные для продолжения исследовательской работы.

Design, construction and flight testing of a light aircraft with an electric engine

Sychev A.V., Balyasny K.V.

MAI, Moscow, Russia

One of the most promising areas in light aviation is aircraft that use an electric engine as the basis of their power plant. The use of an electric motor leads to the peculiarities of the flight and technical characteristics of the aircraft to a fundamental change in the altitude-speed characteristics of the power plant and propeller, mass-inertia, flight-technical and dynamic characteristics, and transport efficiency. In addition, the design and layout of the aircraft has its own characteristics.

Of particular importance is the work on creating a flying sample of this type of aircraft. A group of engineers and students carried out this work. Developed a power plant with an electric motor and a single-seat, light aircraft, which are the object of research.

Most of the research was conducted on the test bench of the power plant. The test bench allows you to get all the electrical parameters of the engine, unit temperatures, propeller thrust and power using a torque device. As a result of the tests, the optimal configuration of the power plant was obtained.

The airframe was designed. Strength calculations are made. Using computer programs, aerodynamic calculations of individual units and the entire aircraft were performed. As a result of the project work, design documentation was released.

Further, technological equipment was developed and manufactured. Separate units were manufactured and the General Assembly of the aircraft was made. Ground tests of the power plant were conducted directly on the aircraft.

According to the developed flight test program, runs and several flights were made.

All systems of the plane worked without any comments. The electric power plant worked without failures.

As a result of the work on the electric aircraft, practical operational experience and valuable data were obtained for continuing research work.

Уточнённая теория расчёта многослойной ортотропной композитной оболочки вращения

Фам В.Т., Фирсанов В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Широкое применение многослойных композитных оболочек в различных областях машиностроения, в том числе авиационно-космической техники, вызывает необходимость разработки надёжных и эффективных методов их расчёта. В связи с этим разработка уточнённых теорий при исследовании напряжённо-деформированного состояния (НДС) композитных оболочек представляет актуальную проблему.

В данной работе предлагается вариант расчета НДС ортотропной композитной оболочки вращения на основе неклассической теории. Применяемый подход основан на аппроксимации искомых перемещений оболочки полиномами по нормальной к срединной поверхности координате на две степени выше по отношению к классической теории типа Кирхгофа-Лява.

В результате минимизации уточнённого значения энергетического функционала Лагранжа получены система основных уравнений равновесия и соответствующие граничные условия. Для решения сформулированной краевой задачи последовательно применяются: разложение перемещений и нагрузок в тригонометрические ряды по окружной координате, методы конечных разностей и матричной прогонки.

В качестве примера рассматривается многослойная композитная сферическая оболочка, жестко закреплённая на двух краях. Оболочка находится под действием симметричной и асимметричной нагрузок на наружной поверхности.

Численные результаты расчета безразмерного прогиба оболочек, полученные в данной работе, практически совпадают с опубликованными результатами исследователей, использующих другие методы в журналах, цитируемых международными базами Web of Science и Scopus, что подтверждает достоверность предлагаемой уточнённой теории. Приводятся графики непрерывного распределения напряжений по толщине оболочки. Установлено, что в краевой зоне многослойных оболочек возникают значительные по величине не только поперечные нормальные и касательные напряжения, но и тангенциальные напряжения. Этот результат позволяет с высокой степенью точности оценить прочность и трещиностойкость многослойных композитных оболочек.

Refined theory for calculating a multilayer orthotropic composite rotary shell

Pham V.T., Firsanov V.V.

MAI, Moscow, Russia

The widespread use of multilayer composite shells in various fields of mechanical engineering, including aerospace engineering, necessitates the development of reliable and efficient methods for their calculation. In this regard, the development of refined theories in the study of the stress-strain state (SSS) of composite shells is an urgent problem.

We propose a variant of calculating the SSS of an orthotropic composite rotary shell based on the non-classical theory in this paper. The applied approach is based on approximation of the required shell displacements by polynomials in the coordinate normal to the median surface two degrees higher in relation to the classical theory of the Kirchhoff-Love type.

As a result of minimizing the refined value of the Lagrange energy functional, a system of basic equilibrium equations and corresponding boundary conditions are obtained. To solve the formulated boundary problem, the following are consistently applied: decomposition of displacements and loads into trigonometric series along the circumferential coordinate, finite difference and matrix sweep methods.

A multi-layer composite spherical shell rigidly clamped at two edges is considered as an example. The shell is exposed to symmetrical and asymmetric loads on the outer surface.

The numerical results of calculating the dimensionless deflection of shells obtained in this work practically coincide with the published results of researchers using other methods in journals cited by the international databases Web of Science and Scopus, which confirms the reliability of the proposed refined theory. Graphs of the continuous stress distribution over the shell thickness are given. It was found that not only transverse normal and tangential stresses, significant in magnitude, but also tangential stresses arise in the edge zone of multilayer shells. This result allows us to evaluate the strength and crack resistance of multilayer composite shells with a high degree of accuracy.

Целевая функция определения оптимального проектного решения

Хакимов А.В.

ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия

Задачи автоматизации никогда не теряют актуальности в среде разработчиков и спроса на рынке систем проектирования. Формализация процедур проектирования позволяет в полной мере осуществить переход к автоматизации различных аспектов проектирования бортового оборудования воздушных судов. В качестве объекта проектирования выбран навигационный комплекс, как отдельная информационная система, имеющая полный набор устройств обеспечивающих его автономную работу.

Навигационные данные всегда являлись продуктом дополнительных функций различных самолетных систем. Сегодня благодаря развитию информационных технологий и миниатюризации комплектующих, появилась возможность формирования навигационного комплекса, как самостоятельной единицы.

Как и любая сложная техническая система, навигационный комплекс имеет множество вариантов реализации, зависящих от различных факторов: объект размещения, его задачи, условия эксплуатации и т.д. Такая вариативность подразумевает сложную задачу проектирования и работу с множеством проектных решений.

Вариативность и дифференциация по сложности функциональных задач и технологическому оснащению, обусловила необходимость автоматизации и получения итогового облика навигационного комплекса.

Идея нахождения оптимального решения из множества проектных решений может быть осуществлена за счет построения и отыскания целевой функции требуемого параметра. Многокритериальная оптимизация с определением весовых коэффициентов является наиболее отработанным методом в решении задач подобного рода. Ключевым моментом является возможность формализации ограничений низкого уровня за счет применения описаний объектов верхних уровней.

The objective function of determining the optimal project

Khakimov A.V.

ITMO, Saint Petersburg, Russia

Automation tasks never lose their relevance in the development environment and demand in the design systems market. The formalization of design procedures makes it possible to fully implement the transition to automation of various aspects of aircraft avionics design. As the object of design, the navigation system is selected as a separate information system that has a full set of devices that ensure its Autonomous operation.

Navigation data has always been the product of additional functions of various aircraft systems. Today, thanks to the development of information technologies and miniaturization of components, it is possible to form a navigation system as an independent unit.

Like any complex technical system, the navigation system has many implementation options that depend on various factors: the location, its tasks, operating conditions, etc. This variability implies a complex design task and working with a variety of design solutions.

The variability and differentiation in the complexity of functional tasks and technological equipment made it necessary to automate and obtain the final appearance of the navigation system.

The idea of finding the optimal solution from a set of design solutions can be implemented by constructing and finding the target function of the required parameter. Multi-criteria optimization with the determination of weight coefficients is the most well developed method for solving problems of this kind. The key point is the ability to formalize low-level constraints by applying descriptions of upper-level objects.

Оценка эффективности перспективной системы отображения информации в задаче посадки в условиях сильных ветровых возмущений

Щербakov A.И., Тяглик М.С., Корзун Ф.А., Проданик В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Организацией IATA совместно с ICAO была проведена оценка процентного вклада того или иного фактора в общее число авиационных инцидентов и катастроф. Согласно отчёту, IATA в период с 2014 по 2018 гг. процентный вклад попадания самолета в сложную ветровую обстановку составил 19% во всех серьёзных авиационных инцидентов и 14% во всех катастрофах. При этом вклад в потерю управляемости в воздухе составил 16%, в выкатывание за полосу 30%, в недолёт до полосы 56%, в жёсткие посадки 30%, в касаниях хвостом ВПП 29%. В 18% всех серьёзных инцидентов и катастроф внешние ветровые возмущения – сопутствующий фактор.

В работе решается задача посадки самолёта в условиях воздействия внешних ветровых возмущений. Для улучшения выполнения посадки используется, помимо штатных средств, специальная перспективная система отображения информации.

Статистика показывает, что наибольшее количество авиационных происшествий происходит именно во время выполнения посадки. Так, одной из самых распространенных причин авиационных происшествий на посадочном режиме являются ветровые возмущения, например, вихревой след от самолёта или микропорыв. Поскольку безопасность полётов является одним из важнейших требований к авиации, то необходимо обеспечить её на всех этапах.

В работе проводится оценка эффективности разработанной системы отображения информации при попадании самолета на этапе посадки в свдиг ветра, природой которого является микровзрыв.

Для оценки эффективности системы отображения информации проводятся экспериментальные исследования в условиях различных ветровых возмущений с использованием пилотажного стенда, показывающие влияние микропорыва на точность выполнения задачи посадки. Эксперименты проводили без и с применением средства отображения информации для трёх условий полёта – без влияния ветра, с микровзрывом, расположенным слева от глиссады и с центром микровзрыва на глиссаде.

Для оценки точности выполнения задачи, по параметрическим записям полётов были рассчитаны математические ожидания и среднеквадратичные отклонения по скорости, высоте и боковой координате. По результатам исследования было доказана эффективность применения средств отображения информации при выполнении посадки – точность отслеживания глиссады улучшается в среднем на 90%, а отклонение от глиссады по высоте и боковой координате во всех полётах не превышает 1-2 метров. Разработанная система наиболее эффективна в неблагоприятных условиях полёта, что существенно повышает безопасность полётов.

Assessment of the effectiveness of a perspective information display system in the landing task in the strong wind disturbances conditions

Shcherbakov A.I., Tyaglik M.S., Korzun F.A., Prodanik V.A.
MAI, Moscow, Russia

IATA, together with ICAO, assessed the percentage contribution of one factor or another to the total number of aviation incidents and accidents. According to the IATA report, in the period from 2014 to 2018, the percentage contribution of aircraft hitting a difficult wind situation was 19% in all serious aviation incidents and 14% in all accidents. At the same time, the contribution to the loss of control in the air was 16%, to rolling out of the runway 30%, to undershoot to the runway 56%, to hard landings 30%, to tailstrikes 29%. In 18% of all serious incidents and disasters, external wind disturbances are a concomitant factor.

This work solves the problem of aircraft landing under the influence of external wind disturbances. To improve the performance of the landing in addition to the standard means a special promising information display system is used.

Statistics show that the largest number of accidents occurs during the landing. Thus, one of the most common causes of accidents during the landing stage is wind disturbances, for example, a wake vortex from an aircraft or a microburst. Since flight safety is one of the most important requirements for aviation, it is necessary to ensure it at all stages.

The work evaluates the effectiveness of the developed information display system when an aircraft hits the wind shear at the landing stage the nature of which is a microburst.

To assess the efficiency of the information display system, experimental studies are carried out in conditions of various wind disturbances using a ground facility, showing the effect of microburst on the accuracy of the landing task. The experiments were carried out without and with the use of a means of displaying information for three flight conditions – without the influence of the wind, with a microburst located to the left of the glide path and with a microburst center on the glide path.

To assess the accuracy of the task, the math expectations and standard deviations in speed, altitude and lateral coordinate were calculated using parametric flight records. According to the research results, the effectiveness of the information display using means during landing was proved – the accuracy of tracking the glide path improves by an average of 90%, and the deviation from the glide path in altitude and lateral coordinate does not exceed 1-2 meters in all flights. The system works most efficiently in adverse flight conditions, which significantly increases flight safety.

1.1. Международная конференция «Беспилотные летательные аппараты»

1.1. International Conference “Unmanned Aerial Vehicles”

Расчет аэродинамических характеристик БПЛА с использованием инструментов Discovery Live

Алпатов И.В., Боровиков Д.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Современные программные средства 1D моделирования позволяют провести математическое моделирование поведения сложных систем, в том числе летательного аппарата с двигателем. Что позволяет провести оценку качества такой системы по критериям высокого уровня. Такие задачи решаются быстро, но требуют большого объема данных, полученных по результатам натурных или виртуальных испытаний. Сократить время виртуальных испытаний можно за счет использования для расчетов GPU, при этом современные инструменты, позволяющие решать задачи численного моделирования методом конечных элементов имеют ряд ограничений на применение, связанные с используемыми моделями и качеством расчетных сеток.

Одной из задач, которую можно решить, используя доступные в Ansys – Discovery Live инструменты при использовании GPU, является расчет аэродинамических характеристик дозвукового летательного аппарата. С использованием Discovery Live был выполнен расчет коэффициентов подъемной силы и аэродинамического сопротивления беспилотного летательного аппарата для последующего использования при расчете полетных циклов. По сравнению с расчетом на процессоре расчет на GPU позволил ускорить получение результатов более чем в 100 раз. Что позволило за время эквивалентное времени расчета одной точки с использованием процессора, рассчитать подробную аэродинамическую характеристику БПЛА в дозвуковой области для различных углов атаки.

Существенным недостатком является меньшая по сравнению с другими модулями CFD из-за низкого качества сетки точность. Discovery Live использует декартову сетку без призматического подслоя, что вносит систематическую погрешность в результат расчета за счет использования пристеночной функции, плохого разрешения мелких тонких деталей конструкции. Частично компенсировать такую ошибку в случае расчета характеристики летательного аппарата можно за счет комбинирования расчетов с использованием GPU с классическими и корректировки результатов. Помимо этого, точность результатов повышается за счет большого количества точек на характеристике.

В целом использование Discovery Live позволяет существенно сократить время расчетов, а совместное использование с традиционными инструментами численного моделирования позволяет частично компенсировать сниженную точность результатов.

Calculation of the UAVs aerodynamic characteristics using Discovery Live tools

Alpatov I.V., Borovikov D.A.
MAI, Moscow, Russia

Modern software tools for 1D modeling allow to perform mathematical modeling of the complex systems behavior, including aircraft with an engine. This allows to evaluate the quality of a system based on high-level criteria. The problem could be quickly solved, but require a large amount of data obtained from bench or virtual experiments. To reduce the time, GPU could be used for calculations. Modern tools, that allow solving problems of numerical simulation by the finite element method, have a number of application restrictions associated with the models and the quality of the computational meshes.

One of the tasks that can be solved by using the tools available in Ansys – Discovery Live when using a GPU is to calculate the aerodynamic characteristics of a subsonic aircraft. Discovery Live is

used to calculate the lift and drag coefficients of an unmanned aerial vehicle for further use in calculating flight missions. Compared to the calculation on the processor, the calculation on the GPU allowed to speed up the results by more than 100 times. This made it possible to calculate the detailed aerodynamic characteristics of the UAV in the subsonic region for various angles of attack in a time equivalent to the time of calculating one point using a processor.

A significant drawback is the lower accuracy compared to other CFD software due to the low mesh quality. Discovery Live uses a Cartesian grid without a prismatic sublayer, which introduces a systematic error in the calculation result due to the use of the wall function and low resolution of small, thin details of the structure. To partially compensate this error in the case of calculating the characteristics of the aircraft, calculations using the GPU could be combined with classical ones to adjust the results. In addition, the accuracy of the results is improved due to the large number of points on the characteristic.

In General, using Discovery Live allows you to significantly reduce the calculation time and the combination with traditional numerical modeling tools allows you to partially compensate for the reduced accuracy of the results.

Перспективы сертификации автономных беспилотных авиационных систем

Аполлонов Д.В., Шибяев В.М., Кругов А.А., Овсянников М.О.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Одним из ключевых принципов обеспечения безопасности полетов БАС является необходимость дистанционного управления беспилотными летательными аппаратами, что означает, что внешний пилот БАС должен в любой момент полета контролировать и иметь возможность вмешаться в управление полетом БЛА. Международными комитетами по БАС, работающими под руководством ICAO и EASA, разработаны рекомендации по лицензированию внешних пилотов БАС, а также справочные материалы для национальных органов в области гражданской авиации по разработке соответствующих нормативных документов. Эти рекомендации определяют необходимые теоретические и практические минимумы для внешних пилотов, основанные на функциях, которые выполняет внешний пилот при управлении полетом БЛА.

С ростом уровня технологий, таких как алгоритмы автоматического управления, средства самодиагностики БАС, средства измерения параметров движения БЛА и обнаружения изменений в ближайшем воздушном пространстве (погодные условия, другие участники воздушного движения), автоматизации передачи информации, все больше функций внешнего пилота могут выполняться автоматическими системами. При этом изменяется не только степень автоматизации системы с точки зрения технического совершенства используемого оборудования, но и уровень полномочий, делегируемых внешним экипажем бортовой системе управления в части принятия решений при изменении условий полета, а также определения ограничений, устанавливаемых для выполнения необходимых действий.

В статье рассмотрены существующие концепции автономности, автономных летательных аппаратов и автономных полетов, а также отечественные и мировые достижения в области автоматизации управления беспилотными авиационными системами. На основе анализа международных стандартов и рекомендательных документов рабочих групп исследована возможность использования автономных БАС в едином воздушном пространстве. Определены ключевые направления развития беспилотной отрасли авиационной промышленности и разработки документов их технического регулирования по мере роста уровня автономности беспилотных летательных аппаратов.

Autonomous unmanned aircraft systems certification perspective

Apollonov D.V., Shibaev V.M., Krugov A.A., Ovsyannikov M.O.

TsAGI, Zhukovsky, Russia

Remote pilot possibility to have continuous control over unmanned aircraft under normal operating conditions is considered one of the key principles of unmanned aircraft systems flight safety. UAS International Committees chaired by ICAO, EASA etc., have published recommendations on RPAS licensing and guidance materials to national aviation authorities for

developing their regulations. These recommendations define theoretical and practical minima for RPAS crew training based on remote pilot functions necessary for RPA control.

With technology advances like automated control algorithms, UAS self-diagnostic capability, UAS motion parameter measuring instruments, means to detect changes in close environment (weather, other airspace users), and information transfer automation, more and more remote pilot functions can be performed automatically. Concurrently, the degree of system automation as regards technical excellence and the authority level the remote crew delegates to onboard control system in terms of decision-making in varying operating conditions change as well as the definitions of limits established for taking the needed action.

The paper discusses the current concepts of autonomy, autonomous aircraft and autonomous flight as well as world achievements in unmanned aviation system automated control. The possibility to use autonomous UAS in non-segregated airspace based on analysis of international standards and advisory documents of working groups was studied. Key areas for unmanned sector development in aviation industry and development of documents for their technical regulation with growing UA autonomy were identified.

Разработка комплексной системы автоматического управления беспилотного летательного аппарата на основе параплана

Ахрамович С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Создание автономных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является актуальным направлением развития современной авиации. Одним из таких перспективных летательных аппаратов является аппарат с мягким крылом, к которому относится параплан, паралёт и аэрошот. Помимо основных достоинств обычных БПЛА, данные типы аппаратов обладают следующими преимуществами: простая система управления по курсу и высоте с помощью управляющих сервоприводов и двигателем тяги; хорошая устойчивость за счет низкорасположенного центра масс; легкость транспортировки, так как крыло сделано из парашютной ткани оно не содержит сборных элементов, обладает малым весом, легко и компактно складывается для последующей перевозки; большая грузоподъемность, которая в зависимости от площади крыла может достигать 120 кг.

В частности, перечисленные преимущества позволяют применять данный тип БПЛА в целях проведения испытаний дорогостоящего оборудования в полете, не причиняя вреда в случае возникновения нештатных ситуаций или отказа бортовых систем управления. Легкость управления позволяет реализовать полностью автономный полет по заданному маршруту, тем самым исключая из контура управления оператора и систем телеуправления.

В докладе рассматриваются схема комплексной системы автоматического управления, применяемые математические модели на основе кватернионов и бикватернионов, инструменты и подходы к проектированию беспилотных летательных аппаратов, использование средств динамического моделирования технических систем и создание цифрового двойника БПЛА.

В заключении представлены результаты летных испытаний разработанного БПЛА на основе параплана.

Development of an integrated system for automatic control of an unmanned aerial vehicle based on a paraglider

Akhramovich S.A.

MAI, Moscow, Russia

The creation of autonomous unmanned aerial vehicles (UAVs) is a current direction in the development of modern aviation. One of these promising aircraft is a soft-wing UAV, which includes a paraglider, a powered paraglider, and powered parachute. In addition to the main advantages of conventional UAVs, data on the types of devices have the following advantages: a simple height control system and with the help of control servo drives and thrust engines; good resistant due to low center of mass; easy to transport, since the wing is made of parachute fabric, it does not contain prefabricated elements, has a low weight, and is easily and compactly folded for

subsequent transportation; large capacity, which, depending on the area of the wing can reach 120 kg.

In particular, these advantages allow you to use this type of UAV in order to test expensive equipment in flight, without causing harm in the event of emergency situations or failure of on-board control systems. The ease of control allows you to implement a fully autonomous flight along a given route, thereby excluding the operator and remote control systems from the control loop.

The report discusses the scheme of an integrated automatic control system, applied mathematical models based on quaternions and dual quaternions, tools and approaches to the design of unmanned aerial vehicles, the use of dynamic modeling of technical systems and the creation of a digital UAV twin.

In conclusion, the results of flight tests of the developed UAV based on a paraglider are presented.

Применение беспилотных авиационных систем для доставки медицинского груза

Барабаш М.П.

Аэромакс, г. Москва, Россия

БПЛА уже стали полноправным сегментом мировой авиационной отрасли, причем сегментом наиболее динамично развивающимся.

Рынок коммерческих применений беспилотных авиационных систем (БАС) растет, и производители БЛА ведут активный поиск путей расширения рынка за счет гражданских отраслей экономики. В России наиболее очевидную область представляет логистика грузов в труднодоступные районы: Арктическая зона РФ, районы Сибири и Дальнего Востока. Наземное сообщение с ними возможным только в ограниченный период года. Развитие этих территорий невозможно без обеспечения регулярных и надежных грузоперевозок.

БПЛА вызывают интерес у транспортно-логистических компаний, в первую очередь, тем, что увеличивается производительность труда, появляется возможность оптимизировать расходы и уменьшить влияние человеческого фактора. С использованием БПЛА и современных технологий решение логистических задач как, например, подбор оптимального маршрута следования будет формироваться без участия человека, что в целом повысит скорость доставки грузов, стабилизирует трафик и разгрузит автомобильные дороги. БПЛА доставка позволит резко сократить количество дорожно-транспортных происшествий.

Проект по беспилотной меддоставке в Томской области в условиях отсутствия логистических маршрутов:

Результаты первых экспериментальных полетов БПЛА с лекарствами в отдаленные районы Томской области для нужд населения.

Беспилотная, бесконтактная доставка – незаменимый инструмент в условиях пандемии Covid-19.

Application of unmanned aircraft systems for medical cargo delivery

Barabash M.P.

Aeromax, Moscow, Russia

UAVs have already become a full-fledged segment of the global aviation industry and the most dynamically developing segment.

The market for commercial applications of unmanned aerial systems (UAS) is growing, and UAV manufacturers are actively looking for ways to expand the market at the expense of civilian industries. In Russia, the most obvious area is the logistics of goods to hard-to-reach areas: the Arctic zone of the Russian Federation, regions of Siberia and the Far East. Ground communication with them is possible only during a limited period of the year. The development of these territories is impossible without ensuring regular and reliable cargo transportation.

UAVs are of interest to transport and logistics companies, first, by the fact that labour productivity increases, it becomes possible to optimize costs and reduce the influence of the human factor. With the use of UAVs and modern technologies, the solution of logistic problems, such as the selection of the optimal route, will be formed without human intervention, which will generally

increase the speed of delivery of goods, stabilize traffic and unload roads. UAV delivery will dramatically reduce the number of road accidents.

Project for unmanned medical delivery in the Tomsk region in the absence of logistics routes:

The results of the first experimental UAV flights with drugs to remote areas of the Tomsk region for the needs of the population.

Unmanned, contactless delivery is an indispensable tool in the face of the COVID-19 pandemic. Creation of a pilot project area for drone flights in the Tomsk region within the framework of the federal project Taiga.

Обзор методов управления полетом беспилотными конвертопланами с поворотной винтомоторной группой

Березуев А.В., Бусурин В.И., Мулин П.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Беспилотный конвертоплан с поворотной винтомоторной группой как объект управления представляет собой сложную нелинейную динамическую систему, с наличием перекрестных связей между каналами управления. Особенно сложным является управление на переходных режимах полета от вертолетного к самолетному и обратно, которые сопровождаются: поворотом вектора суммарной тяги; изменением динамических свойств; неопределенностью в их характеристиках.

Эти особенности обуславливают поиск наиболее эффективных методов управления, которые можно свести к следующим: программное изменение структуры алгоритмов управления в зависимости от режима полета и его параметров; ограничения сигналов на выходе интегрирующих устройств в вычислителях, на входах исполнительных приводов; иерархическое управление (организация внутреннего и внешнего контуров управления).

Проведенный обзор показал, что для формирования контуров управления используются: классическая теория управления линейных систем управлений; теория АКОР; алгоритмы робастного управления; системы с эталонной моделью; методы обратной динамики; алгоритмы с использованием нечеткой логики, нейронных сетей. При этом применяются и линейные, и нелинейные регуляторы. Линейные ПИД-регуляторы обычно используются для угловой стабилизации в вертолетном режиме полета и стабилизации угловой скорости в самолетном режиме. Для учета влияния неопределенностей рассматриваются возможности применения в ПИД-регуляторах нейронных сетей. Однако существенное усложнение структуры регулятора, сложность процедур проектирования все еще ограничивает их использование.

В настоящее время наибольшее распространение получили классические регуляторы. При этом обеспечение требуемых показателей качества контуров управления на переходных режимах достигается использованием набора регуляторов, логика их переключения задается коридором зависимостей углов поворота винтомоторной группы и скорости полета.

Литература:

1. Hernandez-Garcia RG, Rodriguez-Cortes H. Transition flight control of a cyclic tiltrotor UAV based on the Gain-Scheduling strategy. Proceedings of the 2015 international conference on unmanned aircraft systems; 2015 Jun 9-12; Denver, USA.

2. Dickeson JJ, Miles D, Cifdaloz O, Wells VL, Rodriguez AA. Robust LPV H1 gain-scheduled hover-to-cruise conversion for a tilt-wing rotorcraft in the presence of CG variations. Proceedings of the 2007 46th IEEE conference on decision and control; 2007 Dec 12-14; New Orleans. Piscataway (NJ): IEEE Press; 2007.

Overview of flight control methods for unmanned tiltrotor with rotary propeller group

Berezuyev A.V., Busurin V.I., Mulin P.V.
MAI, Moscow, Russia

An unmanned tiltrotor with a rotary propeller group as a control object is a complex nonlinear dynamic system with cross-links between the control channels. It is particularly difficult to control the transition flight modes from helicopter to airplane and back, which are accompanied by:

rotation of the total thrust vector; changes in dynamic properties; uncertainty in their characteristics.

These features determine the search for the most effective control methods, which can be reduced to the following: software changes in the structure of control algorithms depending on the flight mode and its parameters; restrictions on signals at the output of integrating units in controller, at the inputs of actuators; hierarchical control (organization of internal and external control loops).

The review showed that the classical control theory of linear control systems; linear optimal control; robust control algorithms; systems with a reference model; methods of reverse dynamics; algorithms using fuzzy logic and neural networks are used to form control contours. In this case, both linear and non-linear regulators are used. Linear PID controllers are commonly used for angular stabilization in helicopter flight mode and angular velocity stabilization in airplane mode. To account for the influence of uncertainties, the possibilities of using neural networks in PID controllers are considered. However, the significant complexity of the regulator structure and the complexity of design procedures still limit their use.

Currently, the most widely used classical regulators. At the same time, ensuring the required quality indicators of control loops in transient modes is achieved by using a set of regulators, the logic of switching them is set by a corridor of dependencies of the rotation angles of the propeller group and the flight speed.

References:

1. Hernandez-Garcia RG, Rodriguez-Cortes H. Transition flight control of a cyclic tiltrotor UAV based on the Gain-Scheduling strategy. Proceedings of the 2015 international conference on unmanned aircraft systems; 2015 Jun 9-12; Denver, USA.

2. Dickeson JJ, Miles D, Cifdaloz O, Wells VL, Rodriguez AA. Robust LPV H1 gain-scheduled hover-to-cruise conversion for a tilt-wing rotorcraft in the presence of CG variations. Proceedings of the 2007 46th IEEE conference on decision and control; 2007 Dec 12-14; New Orleans. Piscataway (NJ): IEEE Press; 2007.

Использование беспилотного летательного аппарата для исследования турбулентной структуры атмосферного пограничного слоя

¹Бодунков Н.Е., ²Чечин Д.Г., ²Артамонов А.Ю., ¹Калягин М.Ю.

¹МАИ, г. ²ИФА РАН, г. Москва, Россия

В Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН совместно с Московским Авиационным Институтом был разработан БПЛА самолетного типа «Цимлянин» с вертикальным взлетом/посадкой для исследования средней и турбулентной структуры атмосферного пограничного слоя. Основное назначение разработанного БПЛА – измерение турбулентных статистик трех компонент скорости ветра и температуры воздуха на различных высотах в пределах пограничного слоя, а также над неоднородной подстилающей поверхностью. Основной целью таких исследований является уточнение параметров турбулентного обмена, используемых в численных моделях атмосферы. Использование для этих задач измерительного комплекса на базе БПЛА позволяет преодолеть ряд ограничений, присущих традиционным стационарным измерениям турбулентности на мачте, а также является более дешевой и универсальной альтернативой дорогостоящим измерениям с помощью пилотируемых самолетов-лабораторий.

Особенностью разработанного БПЛА является возможность его взлета и посадки в коперном режиме, и крейсерском полёте в самолетном режиме. Преимущество такой «гибридной» схемы заключается в более мягком и контролируемом режиме взлета/посадки, что снижает вероятность повреждения полезной нагрузки. Блок полезной нагрузки «Цимлянина» включает в себя:

- Восьмиканальный приемник воздушных давлений, разработанный совместно с Институтом теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск).

- Инерциальную навигационную систему Ellipse 2N производства.

- Малоинерционный платиновый термометр сопротивления, изготовленный в сотрудничестве с Центральной аэрологической обсерваторией (Долгопрудный).
- Датчик температуры и влажности Vaisala HMP110.
- Емкостной датчик влажности IST P14 Rapid.
- ИК-датчик температуры подстилающей поверхности.
- Систему опроса датчиков и регистрации показаний на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi.

Тестовые полеты БПЛА «Цимлянин» и апробация комплекса полезной нагрузки в природных условиях были проведены во время полевого эксперимента ИФА им. А.М. Обухова РАН на базе Цимлянской научной станции в период 6-14 августа 2020 г. В результате полетов было продемонстрировано соответствие летных характеристик БПЛА расчетным. Первичный анализ данных измерений, полученных с помощью комплекса полезной нагрузки, продемонстрировал работоспособность системы и корректное функционирование всех датчиков и узлов системы опроса и регистрации.

Работа выполнена за счет гранта РФФИ № 18-77-10072.

Use of an unmanned aerial vehicle to study the turbulent structure of the atmospheric boundary layer

¹Bodunkov N.E., ²Chechin D.G., ²Artamonov Y.V., ¹Kalyagin M.Yu.
¹MAI, ²IAP RAS, Moscow, Russia

At the Obukhov Institute of atmospheric physics of the Russian Academy of Sciences, jointly with MAI, a "Tsimlyanin" UAV with vertical take-off/landing was developed to study the medium and turbulent structure of the atmospheric boundary layer. The main purpose of the developed UAV is to measure the turbulent statistics of the three components of wind speed and air temperature at different altitudes within the boundary layer, as well as over the inhomogeneous underlying surface. The main goal of such studies is to Refine the parameters of turbulent exchange used in numerical models of the atmosphere. The use of a UAV-based measurement system for these tasks overcomes a number of limitations inherent in traditional stationary measurements of turbulence at the mast, and is also a cheaper and more versatile alternative to expensive measurements using manned laboratory aircraft.

A special feature of the developed UAV is the possibility of its take-off and landing in copter mode, and cruising in airplane mode. The advantage of this "hybrid" scheme is a softer and more controlled take-off/landing mode, which reduces the likelihood of damage to the payload. The payload block of "Zemlyanin" includes:

- An eight-channel air pressure receiver developed jointly with the S. A. Khristianovich Institute of theoretical and applied mechanics SB RAS (Novosibirsk).
- ellipse 2n inertial navigation system manufactured by.
- Low-inertia platinum resistance thermometer manufactured in collaboration with the Central aerological Observatory (Dolgoprudny).
- Vaisala hmp110 temperature and humidity sensor.
- IST P14 Rapid capacitive humidity sensor.
- IR sensor for the underlying surface temperature.
- A system for polling sensors and recording readings based on a single-Board raspberry Pi computer.

Test flights of the UAV "Zemlyanin" and testing of complex payloads in situ was conducted during the field experiment IFA im. A. M. Obukhov of RAS on the basis of Tsimlyanskaya research station during the period 6-14 August 2020 As a result of the flights, the UAV flight characteristics were demonstrated to match the calculated ones. The initial analysis of the measurement data obtained using the payload complex demonstrated the system's operability and correct functioning of all sensors and nodes of the survey and registration system.

The work was carried out at the expense of the RPF grant No. 18-77-10072.

Разработка гибридного реактивного двигателя для сверхмалых БПЛА

Боровиков Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Развитие современной электроники позволяет существенно уменьшить вес полезной нагрузки беспилотных летательных аппаратов. Что в свою очередь позволяет существенно снизить их размер. Современные ГТД в классе тяги 5-50 кгс имеют ряд недостатков - низкие удельные параметры, низкий ресурс. Создать ГТД с тягой менее 5 кгс представляется крайне сложным из-за высоких, превышающих 200000, оборотов ротора в минуту и малой высоты каналов. В таких размерах применяются ДВС или электрические с воздушным винтом. Область применения таких двигателей ограничена низкими скоростями до 100 м/с и малой высотой полета.

Существенно расширить область применения сверхмалых летательных аппаратов можно за счет использования двигателей новых схем. Одной из таких схем может быть двигатель с одноступенчатым осевым или центробежным компрессором приводимым в движение электродвигателем после которого стоит камера сгорания и реактивное сопло.

Такой двигатель может работать в двух режимах. В холодном режиме без подачи топлива он уступает двигателю с воздушным винтом, но имеет холодную реактивную струю, что позволяет его эксплуатацию в любых условиях включая помещения. В горячем режиме в камеру сгорания подается топливо, при этом можно добиться тяги существенно превышающей тягу воздушного винта с двигателем аналогичной мощности.

К другим преимуществам такого двигателя можно отнести рекуперацию тепла, вырабатываемого электродвигателем, что позволяет дополнительно подогреть воздух на несколько градусов. Отсутствие турбины и возможность использования камеры сгорания конструктивно схожей с форсажными камерами авиационных двигателей позволяет повышать температуру газа до 2000 К без необходимости охлаждения. При наборе скорости полета эффективность работы такого двигателя возрастает за счет сжатия набегающего потока в ВЗУ. Простота конструкции позволяет удешевить двигатель. В зависимости от температуры газа двигатель может обладать внутренней тягой вплоть до сверхзвуковых скоростей полета.

К недостаткам можно отнести необходимость точного управления реактивным соплом для предотвращения помпажа при подаче топлива, высокий удельный расход топлива на уровне 0,2-0,4 кг/Н/ч и относительно высокий вес аккумуляторной батареи.

Летательный аппарат, оснащенный подобным двигателем может развивать скорость до 500 м/с на высоте более 10 км и иметь продолжительность полета 10-20 минут.

Small-size UAV hybrid propulsion development

Borovikov D.A.

MAI, Moscow, Russia

The development of modern electronics can significantly reduce the payload weight of unmanned aerial vehicles. This allows to significantly reduce UAVs size. Modern gas turbine engines with the 50-500 N thrust have a several disadvantages - low specific parameters and short life. It is extremely complicated to create a gas turbine engine with less than 50 N thrust due to the high, over 200000, rotor RPM and low channels height. Internal combustion or electric engines with a propeller are used in such sizes. The area of application of such engines is limited by low, up to 100 m / s, speeds and low flight altitudes.

It is possible to significantly expand the field of application of small aircraft by using engines of new types. One of such engine examples can be an engine with a single-stage axial or centrifugal compressor driven by an electric motor, followed by a combustion chamber and a jet nozzle.

The engine can operate in two modes. In cold mode without fuel supply, it is inferior to an engine with a propeller, but has a cold jet stream, which allows it to be operated in any conditions, including in premises. In hot mode, fuel is supplied to the combustion chamber, and a thrust can be achieved significantly exceeding the thrust of a propeller with an electrical engine of similar power.

Other advantages of the engine include recuperation of the heat generated by the electric motor, which makes it possible to additionally heat the air by several degrees. The absence of a turbine and the possibility of using a combustion chamber structurally similar to the afterburners of aircraft engines allows the gas temperature to be raised to 2000 K without the need of cooling. As the flight speed increases, the efficiency of the engine increases due to the compression of the incoming flow in the air intake device. The simplicity of the design allows the engine to be cheaper. Depending on the gas temperature, the engine can have internal thrust up to supersonic flight speeds.

The disadvantages include the need for precise control of the jet nozzle area to prevent surging during fuel supply, high specific fuel consumption at the level of 0.2-0.4 g/N/h and a relatively high weight of the battery.

An aircraft equipped with such engine can reach up 500 m/s flight speeds at an altitude of more than 10 km and have a flight duration of 10-20 minutes.

Вероятность пересечения беспилотным летательным аппаратом границы заданной области

Бумай А.Ю.

БНТУ МИДО, г. Минск, Беларусь

В большинстве случаев беспилотные летательные аппараты (БЛА) в виду своего предназначения и функциональных особенностей имеют вероятность отклонится от заданной траектории или изменить ее под действием внешних и внутренних факторов. При этом есть вероятность залета в области, которые представляют опасность для БЛА или же наоборот, вероятность несения угрозы самим БЛА. Такие области представляют собой запретные зоны для полета, которые имеют четко выраженные границы и ограничения: запрет на пересечение границы области, запрет на нахождения в зоне более определенного времени. Поэтому всегда существует задача предварительного анализа попадания в запретные зоны с целью корректировки курса.

Рассмотрена задача вероятностного анализа пересечения БЛА границ запретной зоны. Для проведения исследования эволюции фазовых координат БЛА представлена математическая модель системы как динамической системы нестационарного управляемого объекта, подверженного действию помех (возмущений). Для упрощения задачи обоснован процесс линеаризации системы в виду того, что в большинстве случаев БЛА не подвержены сильным перегрузкам, в отличие от ракет. Использована каноническая форма математической модели состояния линейной нестационарной системы. Для вероятностного анализа был применен метод граничных режимов стохастической системы, предложенный Лобатым А.А. В результате анализа было установлено, что определяющим фактором вероятности попадания БЛА в заданную область является инерционность систем слежения за воздушной обстановкой. Аналитическая точность определяется временем слежения и временем пребывания БЛА в заданной области.

The likelihood of crossing the boundary of specified area by an unmanned aerial vehicle

Bumai A.Y.

BNTU IIDE, Minsk, Belarus

In most cases, unmanned aerial vehicles (UAVs), in view of their purpose and functional features, are likely to deviate from a specified trajectory or change it under the influence of external and internal factors. At the same time, there is a possibility of flying into areas that pose a danger to the UAV, or vice versa, pose a threat to specified areas. Such areas are prohibited zones for flight, which have clearly defined boundaries and restrictions: a prohibition on crossing the border of an area, a prohibition on staying in the zone for more than a certain time. Therefore, there is always a task of preliminary analysis of getting into restricted zones in order to correct the course.

The problem of probabilistic analysis of the crossing of the UAV boundaries of the forbidden zone is considered. To examine the evolution of the phase coordinates of a UAV, a mathematical model of the system is presented as a dynamic system of a non-stationary controlled object, subject to the action of noise (disturbances). To simplify the task, the process of linearizing the system is justified in view of the fact that in most cases, UAVs are not subject to strong overloads, unlike

missiles. The canonical form of the mathematical model of the state of a linear nonstationary system is used. For the probabilistic analysis, the method of boundary modes of a stochastic system proposed by Lobatym A.A. was applied. As a result of the analysis, it was found that the determining factor of the probability of a UAV hitting a specified area is the inertia of the systems for tracking the air situation. Analytical accuracy is determined by the tracking time and the time spent by the UAV in a specified area.

Посадка беспилотного летательного аппарата вертикального взлета и посадки на роботизированную платформу в условиях морской качки и фоновых ветров

¹Гасанов М.Ф., ¹Рыбаков Д.В., ²Солодовников Ю.В.

¹ТГУ имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия

²ООО «Корпорация Инженерный Центр Техноарт», г. Севастополь, Россия

Посадка беспилотного летательного аппарата (БЛА) на платформу морского базирования является сложной задачей. Основные причины этому следующие: ограниченные размеры посадочной платформы; неуправляемые перемещения, вызванные качкой корабля; неблагоприятные внешние условия (ветер, туман и т.д.).

Проблема осложняется тем, что качка бывает разного вида (бортовая, килевая и вертикальная), амплитуда и период ветровой волны зависят от многих факторов, в частности от длины разгона волн, продолжительности действия ветра, глубины и пр. Перемещения посадочной платформы зависят от места ее размещения относительно судна. Отсюда следует большая вариабельность действующих внешних условий, которая трудно поддается классификации, и далеко не всегда может быть однозначно предсказана.

В работе предложен комплекс мер, который позволяет обеспечить безопасную посадку на ограниченную площадку в условиях морской качки и фоновых ветров:

1) взлетно-посадочная площадка (ВПП) является подвижной, как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости, может совершать наклонные и поворотные движения, подстраиваясь под движение БЛА и смягчая посадку;

2) БЛА после касания платформы включает реверс тяги (касание фиксируется тензодатчиками), что прижимает его к платформе и обеспечивает первичную фиксацию, затем происходит фиксация захватами, после чего он выключает моторы.

3) Контроль движения БЛА со стороны ВПП с использованием системы технического зрения.

Описанные мероприятия опробованы на прототипе. Базовый сценарий посадки выглядит так: судно движется или как минимум ориентировано против ветра и соответственно перпендикулярно фронту волны (тем самым уменьшаем углы отклонения ВПП во время качки). БЛА движется по направлению ветра вместе с ВПП с линейной скоростью до 5 м/с, совершая посадку по линии этого движения. Во время взаимного движения по ветру беспилотник снижается к ВПП таким образом, чтобы попасть в нужную фазу волны качки, а ВПП со своей стороны совершает подъемно-наклонные движения, обеспечивая мягкость площадки.

Vertical take-off and landing unmanned aerial vehicle landing on a robotic platform in conditions of sea rolling and crosswind

¹Gasanov M.F., ¹Rybakov D.V., ²Solodovnikov U.V.

¹Derzhavin TSU, Tambov, Russia

²Technoart Engineering Center, Sevastopol, Russia

Unmanned aerial vehicle (UAV) landing on a sea-based platform is a challenging task. The main reasons for this are: limited size of the landing platform; uncontrolled movements caused by the ship's rolling; unfavorable weather conditions (wind, fog, etc.).

The problem is compounded by the fact that the platform rolling could be of different types (side roll, pitching, vertical roll). The amplitude and period of the wind wave depends on many factors, in particular, on the length of wave acceleration, duration of wind action, depth, etc. The landing platform movement depends on its location relative to the vessel. This implies a large variability of external acting effects, which is difficult to classify and unambiguously predict.

The paper proposes a set of techniques that allows to ensure a safe landing on a limited site in conditions of sea rolling and crosswind:

The take-off and landing area (TLA) is movable, both in the horizontal and vertical plane. It's able to make tilting and turning movements, adjusting to the UAV movement and softening the landing.

When the UAV touches a platform(touch is determined by strain gauges), it starts the reverse thrust, which presses it to the platform and provides preliminary fixation. Then fixation with grippers occurs and motors are turned off.

The use of a computer vision-enabled TLA to control an UAV.

The described techniques have been tested on a prototype. The basic landing scenario looks like this: the ship is moving or at least it's directed against the wind and perpendicular to the wave front(thereby reducing the TLA deflection angles during pitching). UAV is moving in the direction of the wind along with the TLA at linear speed up to 5m/s and initiates landing on the line of this movement. The drone descends to the TLA during mutual downwind movement in such way to get into the right phase of the rolling wave and the TLA, for its part, makes up-and-down movements, ensuring the smoothness of the landing.

Визуальная навигация беспилотных летательных аппаратов с использованием оптико-электронных систем

Григоренко Н.С.

АО «Кронштадт», г. Москва, Россия

В соответствии с ГОСТ Р 56122-2014 [1] беспилотное воздушное судно – воздушное судно, которое предназначено выполнять полет без пилота на борту, автономное воздушное судно – беспилотное воздушное судно, которое не предусматривает вмешательство пилота в управлении полетом.

Рассмотрим варианты повышения эффективности навигационного комплекса БПЛА путем использования визуальной навигации с использованием ОЭС.

Навигационный комплекс играет основную роль при осуществлении автоматических и автоматизированных режимов полета. В настоящее время для определения местонахождения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) используется ГЛОНАСС или спутниковая система навигации GPS, также используются инерциальные бесплатформенные навигационные системы (БИНС).

При формировании комплексного навигационного решения с использованием ОЭС используются операции комплексирования и обработки многоспектральной видеоинформации, система визуализации на основе применения нейронных сетей формирует и представляет оператору контуры объектов (в частности, определение полосы).

Система визуализации предназначена для ввода, обработки и комплексирования многоспектральной видеоинформации в целях формирования в реальном масштабе времени векторной или растровой оперативной графической информации, которая необходима оператору при предполетной подготовке, «рулежке», заходе на посадку, посадке. Она регистрирует многоспектральную видеоинформацию, выполняется ее комплексирование и осуществляет автоматическую привязку видеоинформации с учетом навигационных данных. При заходе на посадку автоматически обнаруживает ВПП и препятствия.

В режиме «Посадка» на основании сравнения текущих параметров полёта с эталонной глиссадой есть возможность выдачи текстовых или звуковых подсказок пилоту типа «Выше 100, Правее 50». Выбранный угол обзора индицирует в какую сторону направлена ОЭС и попадает ли в него ВПП, а также, в какой части экрана она находится, для более быстрого обнаружения и распознавания её оператором. Также присутствует отображение текущих параметров полета для контроля глиссады снижения.

В навигационном решении при использовании комплексного подхода БПЛА с использованием системы визуализации может автоматически определять полосу и выдавать навигационные параметры БПЛА с отклонениями от ВПП и проводить корректировку

навигационных параметров для выполнения полетного задания в режиме реального времени, используя эталонные данные, полученные в ходе обработки телеметрии.

UAV visual navigation using optoelectronic systems

Grigorenko N.S.

KRONSHTADT, Moscow, Russia

In accordance with GOST R 56122-2014 [1], an unmanned aircraft is an aircraft that is designed to fly without a pilot on board, an autonomous aircraft is an unmanned aircraft that does not provide for pilot intervention during flight control.

Let us consider various options for increasing the efficiency of the UAV navigation systems by applying visual navigation using OES.

Navigation systems play a major role in the implementation of automatic and automated flight modes. Currently, GLONASS or GPS satellite navigation system is used to determine the location of an unmanned aerial vehicle (UAV); inertial navigation systems (INS) are also used.

When forming an integrated navigation solution using OES, the operations of integrating and processing multispectral videodata are used, the visualization system based on the use of neural networks forms and presents to the operator the contours of objects (in particular- the runway).

The visualization system is designed for input, processing and integration of multispectral videodata with the goal to generate in real-time a vector or a raster operational graphic information, which is necessary for the operator during the pre-flight preparation, taxiing, approach and landing. It registers multispectral videodata, performs its integration and automatically links together the videodata and the corresponding navigation data. Also automatically detects runways and obstacles on approach.

In the "Landing" mode, which is based on a comparison of the current flight parameters with the reference glide path, it is possible to issue text or sound prompts to the pilot. For example "Higher 100, Right 50". The selected viewing angle indicates in which direction the OES is directed and whether the runway falls into it, as well as in which part of the screen it is located, allowing for a faster detection and recognition by the operator. There is also a display of the current flight parameters to control the glide path of the descent.

In a navigation solution, when using an integrated approach, a UAV using a visualization system can automatically determine the runway and provide navigational parameters of the UAV with respect to deviations from the runway and adjust those parameters to perform the flight task in real time using the reference data obtained during telemetry processing.

Применение БПЛА для задач дефектоскопии промышленных объектов

Данзорюн Б.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время БПЛА широко используются для мониторинга состояния промышленных объектов. Управление аппаратом и послеполетная обработка полученных данных осуществляется человеком. В последнее время наметилась тенденция к автоматизации полета и обработки полученных данных с применением элементов искусственного интеллекта.

Специалистами МАИ создаётся программно-аппаратный комплекс для дефектоскопии поверхностей нагрева котлов ГРЭС. Применение подобной технологии позволяет сократить время в период проведения планового и аварийного ремонта, затрачиваемое на возведение лессов и осмотр поверхностей нагрева. Комплекс состоит из БПЛА, способного совершать автономный полет внутри остановленного котла и программного обеспечения, обеспечивающего обработку и расшифровку полученных снимков.

Система управления БПЛА состоит из автопилота, бортового компьютера и набора датчиков. Для навигации внутри помещения аппарат оснащен набором лазерных дальнометров, позволяющих получить положение аппарата относительно стен и нижней отметки котла, а также – стереокамерой, для поддержания позиции относительно исследуемой поверхности котла. Данные с датчиков и стереокамеры обрабатываются в

бортовом компьютере, который формирует управляющие сигналы на автопилот. Аппарат совершает облет периметра котла с переходом от уровня к уровню.

Полезная нагрузка состоит из ТВ камеры и лидара, работающего в ближнем ИК диапазоне. В процессе полета осуществляется фотосъемка с привязкой кадров к трёхмерной модели котла. Собранные изображения анализируются с применением аппарата нейронных сетей. Помимо изображений, полезная нагрузка получает облако точек, характеризующих поверхности нагрева.

Программно-аппаратный комплекс анализа должен позволять выявлять следующие типы дефектов поверхностей нагрева: трещины, цвета побежалости, крипы, коррозия, выход труб из ряда. В настоящее время уверенно обнаруживаются трещины, выход трубы из ряда, цвета побежалости. Обучение сетей проводилось на реальных и синтетических данных. В процессе разработки было проведено тестирование трех архитектур нейронных сетей: YOLO, Detector RS, DTS. Лучшие результаты получены на архитектурах Detector RS и DTS.

Комплекс проходит экспериментальную отработку на реальном объекте Интер РАО.

The use of UAVs for the tasks of flaw detection of industrial facilities

Danzurun B.D.

MAI, Moscow, Russia

Currently UAVs have been widely used for condition monitoring of industrial facilities. Control of the device and post-flight processing of the received data is carried out by a person. Recently, there has been a trend towards automating the flight and processing the data obtained using elements of artificial intelligence.

MAI specialists create a software and hardware complex for flaw detection of heating surfaces of GRES boilers. The use of this technology allows you to reduce the time during scheduled and emergency repairs spent on the construction of loess and inspection of heating surfaces. The complex consists of a UAV capable of performing Autonomous flight inside a stopped boiler and software that provides processing and decryption of the received images.

The UAV control system consists of an autopilot, an on-Board computer, and a set of sensors. For indoor navigation, the device is equipped with a set of laser range finders that allow you to get the position of the device relative to the walls and the lower mark of the boiler, as well as a stereo camera to maintain the position relative to the studied surface of the boiler. Data from sensors and stereo cameras are processed in the on-Board computer, which generates control signals to the autopilot. The device flies around the perimeter of the boiler with the transition from level to level.

The payload consists of a TV camera and a lidar operating in the near-IR range. During the flight, photos are taken with the frames linked to a three-dimensional model of the boiler. The collected images are analyzed using neural networks. In addition to images, the payload receives a cloud of points that characterize the heating surface.

The hardware and software complex of the analysis should allow detecting the following types of defects of heating surfaces: cracks, run-off colors, creeps, corrosion, pipe failure. At present, cracks, pipe out-of-line, and run-down colors are confidently detected. The networks were trained on real and synthetic data. During development, three neural network architectures were tested: YOLO, Detector RS, and DTS. The best results were obtained on the Detector RS and DTS architectures.

The complex is undergoing experimental testing at a real inter RAO facility.

Обучение проектированию и производству летательных аппаратов на основе создания моделей

Дикова Ф.А., Каршанов И.Ф.

УГАТУ, г. Уфа, Россия

Актуальность обучения и ориентирования подрастающего поколения для освоения авиакосмических профессий связана с новаторством авиации и космонавтики. С целью авиакосмического образования молодежи в УГАТУ несколько лет уделяется внимание практическому опыту создания действующих моделей аэрокосмических аппаратов различной сложности, в том числе беспилотных летательных аппаратов.

Для решения этой задачи команда студентов проходит все этапы технического проекта: от опытно-конструкторской разработки до запуска летательного аппарата, знакомится с современными методами расчетов, конструирования, изготовления, испытания моделей, применения систем управления.

Работа над проектом помогает каждому студенту расширить технический кругозор, сделать правильный выбор направлений личного развития, выбор профессии.

Проектирование, конструирование, изготовление и испытания моделей беспилотных летательных аппаратов способствует возникновению новых идей и решений, а также развитию творческих способностей молодежи. Создаваемые беспилотные летательные модели постоянно существенно совершенствуются и дополняются. В работе выделены особенности современного состояния создания моделей беспилотных летательных аппаратов и перспектив развития.

По итогам успешных запусков команда УАТ неоднократно получала дипломы победителя на всероссийском чемпионате МГУ и Роскосмос «Воздушно-инженерная школа». Целью этого проекта является привлечение школьной и студенческой молодежи к наукоемким и высокотехнологичным областям деятельности, прежде всего, к космическим исследованиям. Проект реализуется в форме чемпионата – ежегодного соревнования школьных и студенческих команд. Участники должны владеть базовыми знаниями по математике, информационным технологиям и естественным наукам. Необходимым условием участия является наличие в команде научного руководителя и капитана команды.

Планируется организовать в Республике Башкортостан Региональный тур Российского образовательного проекта «Воздушно-инженерная школа» на базе УАТ УГАТУ для вовлечения школьной и студенческой молодежи в процесс разработки моделей ракет-носителей и беспилотных летательных аппаратов.

Научно-технический прогресс определяют будущее в создании беспилотных летательных аппаратов. Для совершения новых прорывов надо развивать творческие способности молодежи, создавать все более перспективные модели летательных аппаратов.

Training in the design and production of aircraft based on the creation of models

Dikova F.A., Karshanov I.F.

USATU, Ufa, Russia

The relevance of training and orientation of the younger generation for the development of aerospace professions is associated with the innovation of aviation and cosmonautics. For the purpose of aerospace education of young people in UGATU, attention has been paid for several years to the practical experience of creating existing models of aerospace vehicles of various complexity, including unmanned aerial vehicles.

To solve this problem, a team of students goes through all stages of a technical project: from experimental design to the launch of an aircraft, get acquainted with modern methods of calculation, design, manufacture, testing models, and application of control systems.

Working on the project helps each student to expand their technical horizons, make the right choice of personal development areas, and choose a profession.

Designing, constructing, manufacturing and testing models of unmanned aerial vehicles contributes to the emergence of new ideas and solutions, as well as the development of creative abilities of young people. The created unmanned aerial models are constantly being significantly improved and supplemented. The paper highlights the features of the current state of creation of models of unmanned aerial vehicles and development prospects.

As a result of successful launches, the UAT team has repeatedly received winner's diplomas at the all-Russian championship of Moscow state University and Roscosmos "Air engineering school". The goal of this project is to attract school and student youth to science-intensive and high-tech areas of activity, primarily to space research. The project is implemented in the form of a championship – an annual competition of school and student teams. Participants must have a basic knowledge of mathematics, information technology, and science. A necessary condition for participation is the presence of a scientific supervisor and team captain in the team.

It is planned to organize a Regional tour of The Russian educational project "Air engineering school" in the Republic of Bashkortostan on the basis of UAT UGATU to involve school and student youth in the process of developing models of launch vehicles and unmanned aerial vehicles.

Scientific and technological progress determine the future in the creation of unmanned aerial vehicles. To make new breakthroughs, it is necessary to develop the creative abilities of young people, to create more and more promising models of aircraft.

Многоцелевой беспилотный вертолёт грузоподъёмностью 50 кг

Дьяконов Д.А., Завалов О.А., Филипенков С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В Московском авиационном институте в СКБ 602 «Искатель» кафедры 602 проводятся работы по созданию ДПЛА для работы в составе комплексов различного назначения. Одно из ведущих направлений в работе СКБ 602 «Искатель» – разработка высокоресурсного многоцелевого вертолёта – носителя и адаптация к нему полезной нагрузки: контейнеров с грузом, оптико-электронной ин-формационной системы, системы пожаротушения и других систем.

В основе программы лежит глубокая модернизация дистанционно пилотируемого вертолёта «Ворон-300» из состава комплекса воздушной разведки «КВР Ворон» (ГИ, литера О1, утверждённые ТУ на изделие).

Разработана трёхуровневая программа обучения экипажа.

Основные элементы конструкции с безопасным разрушением – срок их службы определяется по состоянию, но не менее 6000 часов (пример: повреждённая зубчато-ременная трансмиссия допускает при контроле динамики разрушения продолжать эксплуатацию вертолёта).

На вертолёте устанавливаются интегральные двигательные установки, работающие на «тяжёлых» сортах топлива (авиационный керосин, дизельное топливо) и на «стандартном» бензине серии АИ-92...98.

Компоновка вертолёта выполнена по классической схеме одновинтового вертолёта с рулевым винтом. Все агрегаты вертолёта монтируются на силовом каркасе фюзеляжа ферменной конструкции.

Основным режимом комплекса управления является автоматический полёт вертолёта по заданному маршруту.

В случае выключения спутниковой навигационной системы навигация осуществляется ИНС с коррекцией от магнитометра и оптического датчика.

Передача данных или радиоканал «борт-земля». Тип модема передачи команд управления вертолётom и полезной нагрузкой, диапазон рабочих частот, параметры антенн определяется требованием эксплуатанта.

Интегральные лётные характеристики (ИЛХ). ИЛХ в отличие от «стандартных» лётно-технических характеристик (ЛТХ) представляют собой характеристики вертолёта, выполняющиеся совместно при установленных внешних условиях эксплуатации.

Проведённые в период с 2008 по 2020 гг. лётно-конструкторские испытания вертолёта показали полное соответствие полученных характеристик принятым проектным положениям и расчётным лётно-техническим характеристикам.

Multipurpose unmanned helicopter with a payload capacity of 50 kg

Dyakonov D.A., Zavalov O.A., Filipenkov S.A.

MAI, Moscow, Russia

At Moscow Aviation Institute in SKB 602 “Iskatel” of the department 602, from the mid-90s of the last century, work has been carried out on the creation of remotely-piloted aircraft (UAVs) for work as part of complexes for vari-ous purposes.

One of the leading areas in the work of SKB602 Iskatel is the development of a high-resource and inexpensive both in the acquisition and operation of a multi-purpose helicopter carrier with a take-off mass of 120 kg (flight time in difficult weather conditions is 4 hours) and adaptation to it of vari-ous payloads weighing up to 50 kg.

The program is based on the deep modernization of the Raven 300 remotely piloted helicopter from the KVR Raven air reconnaissance complex.

A three-level crew training program has been developed. The first level is to complete a flight mission only in automatic mode. The second is supplemented by a semi-automatic mode and the ability to perform take-off and landing in difficult weather conditions. The third level is helicopter control in manual mode without automation within the line of sight and at a distance by camera in simple and difficult weather conditions.

The layout of the helicopter is made according to the classical scheme of a single-rotor helicopter with a tail rotor. All helicopter assemblies are mounted on the power frame of the truss fuselage.

In the case of turning off the satellite navigation system, navigation is carried out by an ANN with correction from a magnetometer and an optical sensor. The optical sensor operates in the visible and broadband infrared ranges and actually performs the functions of a horizon and DISS.

The ability of the helicopter to accurately position in the hovercraft mode will provide a developed algorithm for the operation of the technical vision system, autopilot and the helicopter carrier system.

In addition, the developers are working on the installation of an onboard board-ground optical link based on a UV laser on board the optical line, which allows, within the line of sight, full control of the flight mission during electronic warfare systems.

Conducted between 2008 to 2020 helicopter flight design tests showed full compliance of the obtained characteristics with the accepted design provisions and design flight technical characteristics.

Концепт беспилотного летательного аппарата с длительным реактивным стартом и изменяемой геометрией крыла

Ежов А.Д., Котович И.В., Гритчин Д.М., Ежов Н.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Рынок беспилотных летальных аппаратов на сегодняшний день представляет огромное разнообразие форм, типов и размеров, и назначений. Наименее трудоемкими в изготовлении и подготовке к запуску являются малоразмерных беспилотников-разведчиков, чья основная задача является мониторинг местности. Большинство из них либо требуют длительной подготовки к старту, в связи с развёртыванием дополнительного стартового оборудования в виде рогаток, катапульта и т.д., либо имеют малое время полета. Для снижения массы стартового оборудования, времени развёртывания и запуска беспилотного летательного аппарата, а также для увеличения продолжительности времени полета, в связи с неиспользованием источников питания для набора высоты, предлагается концепт БЛА с длительным реактивным стартом и изменяемой геометрией крыла.

В предлагаемом концепте, БЛА, до момента запуска, находится в транспортировочном контейнере, который так же является и стартовой установкой. Геометрия беспилотного летательного аппарата такова, что в процессе старта и скоростного набора высоты (порядка 50-70 м/с), вся конструкция планера находится в сложенном состоянии, это позволяет существенно снизить лобовое сопротивление и увеличить высоту взлета. По достижении апогея или заданной точки производится переход в планирующий режим, на котором выполняется основная функция аппарата. Для выполнения полетов по маршруту, а также для возврата на исходную позицию, БЛА оснащен силовой установкой со складывающимися лопастями.

Предлагаемая концепция беспилотного летательного аппарата позволяет реализовать его в классе широком диапазоне весовых характеристик (от 0,1 до 2 кг) и назначений. На данный момент авторами реализована и успешно отработана схема свободнолетающего БЛА без активного управления и мониторинга.

Наличие беспилотного летательного аппарата рассматриваемого типа позволяет значительно снизить время от начала развёртывания комплекса до момента получения информации с БЛА, что является одним из важных факторов в ряде задач. Данный подход

может положительно реализовываться при проведении поисково-спасательных операций, геолого-разведывательных работ и мониторинга местности.

Unmanned aerial vehicle with long jet launch and variable wing geometry

Ezhov A.D., Kotovich I.V., Gritchin D.M., Ezhov N.P.

MAI, Moscow, Russia

The market for unmanned aerial vehicles today represents a huge variety of shapes, types and sizes and purposes. The least labor-intensive in the manufacture and preparation for launch is the direction of small-sized reconnaissance drones, whose main task is to monitor the terrain. Most of them either require lengthy preparation for the launch in connection with the deployment of additional launch equipment in the form of slingshots, catapults, etc., or have a short flight time. To reduce the mass of the launch equipment, the deployment and launch time of the unmanned aerial vehicle, as well as to increase the duration of the flight, due to the non-use of power sources for climb, a concept of a UAV with a long jet launch and variable wing geometry is proposed.

In the proposed concept, the UAV, until the moment of launch, is in a shipping container, which is also a launch vehicle. The geometry of the unmanned aerial vehicle is such that during the launch and high-speed climb (about 50-70 m / s), the entire structure of the airframe is folded, this can significantly reduce drag and increase takeoff altitude. Upon reaching the apogee or the set point, a transition is made to the gliding mode, in which the main function of the apparatus is performed. To perform en-route flights, as well as to return to the starting position, the UAV is equipped with a power plant with folding blades.

The proposed concept of an unmanned aerial vehicle makes it possible to implement it in a class with a wide range of weight characteristics (from 0.1 to 2 kg) and purposes. At the moment, the authors have implemented and successfully worked out a free-flying UAV scheme without active control and monitoring.

The presence of an unmanned aerial vehicle of this type can significantly reduce the time from the beginning of the deployment of the complex to the moment of receiving information from the UAV, which is one of the important factors in a number of tasks. This approach can be positively implemented in search and rescue operations, geological exploration and terrain monitoring.

Подавление эффектов задержки трансляции сигналов при управлении беспилотными летательными аппаратами с помощью прогнозного дисплея

Ефремов А.В., Иргалеев И.Х., Тяглик М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из характерных черт управления беспилотными летательными аппаратами (БЛА) является запаздывание в тракте при управлении ими оператором с наземного пункта управления (НПУ). Эти задержки связаны с временем необходимым для кодирования и декодирования сигналов, интервалом времени трансляции сигнала через спутник и рядом других. Величина этих задержек достигает 1-1.2 с при управлении авиационными БЛА. Примерно такие же задержки происходят при управлении космическими ЛА на этапе стыковки в телеоператорном режиме (ТОРУ). Еще большие задержки (до 4 сек) характерны при управлении с земли Лунным ровером. Управление такими объектами оператором в непрерывном ручном режиме или крайне затруднительно, или практически невозможно. С целью реализации непрерывного ручного управления оператором и подавления эффектов запаздывания в работе предложено использовать прогнозный дисплей, отображающий программную траекторию и прогнозируемую траекторию движения БЛА. Закон формирования прогнозных сигналов, отображаемых на экране дисплея, формируется по сигналам измерений, а также путем вычисления отдельных фазовых координат, используя математическую модель движения не учитывающую запаздывание. В работе излагается методика формирования прогнозного сигнала, а также других параметров, отображаемых на экране прогнозного дисплея. Их определение осуществляется методами математического моделирования системы «человек-оператор – ЛА». В работе приводятся результаты экспериментальных исследований, полученные на стенде полунатурного моделирования, подтверждающие эффективность предложенного решения.

Suppression of Signal Transmission Delay Effects in Unmanned Aerial Vehicle Control Using a Predictive Display

Efremov A.V., Irgaleev I.Kh., Tiaglik M.S.
MAI, Moscow, Russia

One of the characteristic features of unmanned aerial vehicle (UAV) control is the delay in the flight control system, operated from a ground control station (GCS). These delays are associated with the time necessary for the encoding and decoding of signals, the interval of signal transmission through a satellite, and a number of other factors. The time of these delays reaches 1-1.2 seconds when controlling atmospheric UAVs. Roughly similar delays occur during remote manual docking of spacecraft. Even longer delays (up to 4 seconds) are characteristic of controlling a lunar rover from Earth. Continuous manual control of such objects by a human operator is either extremely difficult or virtually impossible. For the purpose of implementing continuous manual control by the operator and suppressing the delay effects, the study proposes to use a predictive display, representing the programmed and predicted flight paths of the UAV. The law of the displayed predictive signals generation is developed based on measurement signals, as well as calculating individual state variables, using a mathematical model of motion that does not factor in the delay. The study presents a methodology for generating a predictive signal, as well as other parameters rendered on the screen of the predictive display. Their definition is done by means of mathematical modeling of the human operator-UAV system. The study provides the results of experimental research, obtained via ground-based simulation, which confirm the effectiveness of the proposed solution.

Применение БВС с различными полезными нагрузками для решения задач по построению цифровой модели рельефа (ЦМР), инспектированию и мониторингу объектов инфраструктуры на примере промышленных решений компании DJI

Заверткин С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Развитие беспилотных авиационных технологий создает всё больше возможностей для использования беспилотников не только в военной, но и в гражданской сфере, а интеграция их в производственные процессы порождает новые запросы и сценарии применения. Крупные компании создают интегрированные экосистемы на базе своих летающих платформ, в которых объединяются разработчики полезных нагрузок, программного обеспечения и мобильных приложений для максимально полного удовлетворения потребностей рынка. Дроны изменили технологические процессы в таких отраслях промышленности как горнодобывающая, сельское хозяйство, энергетика, строительство, инфраструктура и страхование.

Для примера компания DJI изначально разрабатывала и изготавливала компоненты для беспилотников, а затем любительские дроны. Для удовлетворения запросов бизнеса помимо совершенствования аппаратного обеспечения было принято решение заниматься разработкой различных полезных нагрузок и программного обеспечения, а также обучением, интеграцией и сопутствующими услугами. В основу новой концепции были заложены три основных компонента: сервис разработки ПО (комплекс инструментов для разработки мобильных пользовательских приложений, систем управления и интеграции полезных нагрузок), модульная летающая платформа и запуск инвестиционного фонда. В результате, то что начиналось в качестве исследовательского проекта, превратилось в целую экосистему, которая помогла сформироваться десяткам коммерческих компаний и, тем самым, повысить значимость беспилотных платформ модульного типа.

На данный момент текущий опыт взаимодействия с отечественными заказчиками, интеграции и адаптации БАС под их требования позволяет решать различные прикладные задачи. Создавать цифровые модели рельефа с высокой точностью геопривязки, за счет использования GNSS модулей и синхронизации телеметрии в реальном времени. Применяя лидары, формировать 3D-данные, фиксируя детали сложных структур. Проводить обследование объекта на значительном расстоянии с возможностями стандартной и

тепловой съемки, в т.ч. для получения точных попиксельных значений температуры исследуемых объектов и для контроля нарушения границ охраняемой территории. Используя высокочувствительный детектор метана проверять и обслуживать такие объекты, как установки и резервуары для сжиженного природного газа, газопроводы в труднодоступных для операторов местах. Для мониторинга окружающей среды и сельскохозяйственной отрасли проводить мультиспектральную съемку и обработку полей.

Application of UAVs with various payloads for solving problems of digital terrain model (DTM) generation, inspecting and monitoring infrastructure using the example of DJI industrial solutions

Zavertkin S.A.

MAI, Moscow, Russia

The development of unmanned aviation technologies creates more and more opportunities for using drones not only in the military, but also in the civil sphere, and their integration into production processes generates new requests and application scenarios. Large companies create integrated ecosystems based on their flying platforms, which bring together developers of payloads, software, and mobile applications to comprehensively meet the needs of the market. Drones have changed technological processes in industries such as mining, agriculture, energy, construction, infrastructure, and insurance.

For example, DJI initially developed and manufactured components for drones, and then drones for Hobbies and outdoor activities. To meet business needs, in addition to improving hardware, it was decided to develop various payloads and software, as well as training, integration, and related services. The new concept was based on three main components: a SOFTWARE development service (a set of tools for developing mobile user applications, autopilot and payload integration), a modular flying platform, and the launch of an investment Fund. As a result, what started as a research project has turned into an entire ecosystem that has helped launch dozens of commercial projects and, thus, increase the importance of unmanned modular platforms.

At the moment, the current experience of interaction with domestic customers, integration and adaptation of UAV systems to their requirements allows us to solve various applied problems. Create digital terrain models with high geo-referencing accuracy, using GNSS modules and real-time telemetry synchronization. Using lidar, generate 3D data by capturing details of complex structures. Perform inspections of infrastructure objects at a considerable distance with the capabilities of standard and thermal photography, including: to get accurate pixel-by-pixel values of the temperature of the studied objects and to control violations of the boundaries of the protected area. Using a highly sensitive methane detector, check and maintain facilities such as installations and reservoirs for liquefied natural gas, gas pipelines in places that are difficult for operators to reach. To monitor the environment and the agricultural sector, conduct multispectral surveys and field processing.

Проектирование системы управления полетом БПЛА с помощью частотного метода оптимизации

¹Зайцева Ю.С., ²Кузнецов Н.В.

¹ИИТМаш РАН, ²СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

В докладе рассматривается математическая модель системы управления полетом по продольной оси беспилотного летательного аппарата с жестким крылом Phasball. Исследование системы проводится для режима дистанционного управления по радиоканалу с помощью человека-пилота, который выполняет роль регулятора и входит в замкнутый контур системы управления. Человек-пилот описывается упрощенной линейной моделью, отражающей его корректирующие действия в диапазоне средних частот. Свойство адаптации человека-пилота к переменным задачам полета и периодический характер движения руля направления позволяют обеспечить оптимальные свойства образуемой им системы, а в моделировании использовать правила настройки оптимальных систем. В связи с этим, на основе частотного метода оптимизации систем разработана компьютерная программа имитации техники пилотирования беспилотного летательного аппарата

человеком-оператором в замкнутом контуре управления на примере задачи одноконтурного слежения, с учетом эффекта насыщения скорости привода органа управления, при появлении времени запаздывания в тракте управления. В результате для каждого примера получены параметры оптимальной системы управления, по которым с помощью критериев оценки пилотажных характеристик, в том числе критерия тенденции к раскачке аппарата, можно оценивать динамические характеристики системы. Предложены пути корректировки параметров системы для улучшения пилотажных характеристик. Рассмотренный подход позволяет оценить возможности системы управления для различных задач пилотирования, проверить реализуемость концепции летательного аппарата, в том числе с точки зрения безопасности полетов. Компьютерное моделирование сокращает временные и финансовые затраты на проведение широкого спектра наземных и летных экспериментов, способствует раскрытию технических неопределенностей в новых концептуальных конструктивно-технологических решениях.

Работа выполнена при поддержке программы Ведущие научные школы РФ на 2020-2021 (НШ-2624.2020.1).

Design of UAV flight control system based on the frequency optimization method

¹Zaitceva I.S., ²Kuznetsov N.V.

¹IPME RAS, ²SPSU, Saint-Petersburg, Russia

In the report, the flight control system of an research fixed-wing UAV called Phastball is considered. UAV is remotely controlled on the longitudinal axis by a ground pilot. The human pilot is described by a simplified linear model that reflects his corrective actions at the crossover frequency. He/she plays the role of a regulator and is part of the closed-loop system. The human pilot ability to adapt to the flight tasks changing and the periodic nature of the rudder movement make it possible to ensure the optimal system properties, and to use the optimal systems tuning in simulation. Due to this circumstance, based on the frequency system optimization method, a flight-imitator program was developed and applied by the example of a compensatory mode in the pilot behavior, under the saturation effect of the actuator rate limit and when a time lag appears in the control loop. As a result, the optimal control system parameters were obtained, according to which the system dynamic characteristics are estimated using the flight handling qualities criteria. The ways of adjusting the system parameters to improve the flight performance are proposed. The considered approach makes it possible to assess the capabilities of the control system for various piloting tasks, check the feasibility of the aircraft concept, including from the point of view of flight safety. Computer simulation reduces time and cost for conducting a wide range of ground and flight experiments, contributes to the disclosure of technical uncertainties in new conceptual design and technological solutions.

This work was financially supported by the Leading Scientific Schools of the Russian Federation program for 2020-2021 (SS-2624.2020.1).

Оценка площади полегания ярового ячменя с помощью мультиспектральной съемки с БПЛА

Захарова Н.И., Курбанов Р.К.

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются современным инструментом в цифровом сельском хозяйстве для мониторинга сельскохозяйственных биообъектов и контроля технологических операций. Основным интерес, способствующий внедрению беспилотных летательных аппаратов в сельское хозяйство, связан с возможностью автономного сбора данных и установкой различных приборов на борт БПЛА, что позволяет проводить мониторинг растений и почв более точным по сравнению с другими видами дистанционного зондирования. Мониторинг семеноводческого поля ярового ячменя проводился с помощью платформенного решения, состоящего из БПЛА DJI Phantom 4 pro; мультиспектральной камеры Parrot Sequoia; подвеса для крепления камеры, учитывающий сенсоры и датчики БПЛА (патент RU 2 728 846 C1).

Мониторинг посевов осуществлялся в период апрель-июль 2020, полеты осуществлялись 20 мая, 11 июня, 22 июня, 2 июля и 17 июля. Были составлены высокодетализированные ортофотопланы с пространственным разрешением (GSD) равным 1,57, спектральные карты Red канала и вегетационные карты NDVI с GSD = 6,44.

Из-за неблагоприятных погодных условий произошло полегание посевов начиная с фазы выхода в трубку, что было замечено при съемке с БПЛА. Визуальная оценка ортофотопланов способствовала выявлению зон с полеганием ярового ячменя. Растровый анализ спектральных карт Red канала позволил определить площадь полегания посевов на фазах выхода в трубку и колошения. Площадь полегания посевов на 22 июня составила 0,3045 Га. Из-за дождей с сильными порывами ветра площадь полегания посевов увеличилась на 0,4905 Га и составила 0,795 Га на 2 июля 2020. К 17 июля визуально полегание составляло порядка 70-80% от общей площади поля, при этом применить вышеописанный алгоритм не удалось, т.к. посевы начали желтеть и показатели Red канала сильно изменились.

Исследуемый метод оценки полегания посевов ярового ячменя может быть применен на начальных стадиях вегетации ярового ячменя, т.е. до начала изменения цвета посевов с зеленого в желтый. Полученные результаты способствуют оценке потерь урожая, обращению в страховую компанию, прогнозированию урожайности в текущем сезоне.

Estimation of the area of spring barley lodging using multispectral UAV survey

Zakharova N.I., Kurbanov R.K.

FGBSU FSAC VIM, Moscow, Russia

Unmanned aerial vehicles (UAVs) are a modern tool in digital agriculture for monitoring agricultural biological objects and monitoring technological operations. The main interest that contributes to the introduction of unmanned aerial vehicles in agriculture is related to the possibility of autonomous data collection and the installation of various devices on board the UAV, which allows monitoring plants and soils more accurately than other types of remote sensing. Monitoring of the spring barley seed field was carried out using a platform solution consisting of a UAV DJI Phantom 4 pro; a Parrot Sequoia multispectral camera; a camera suspension that takes into account different types of UAV's sensors (patent RU 2 728 846 C1).

Monitoring of crops was carried out in the period April-July 2020, flights were conducted on May 20, June 11, June 22, July 2 and July 17. Highly detailed orthophotos with a spatial resolution (GSD) of 1.57, spectral maps of the Red channel, and vegetation maps of NDVI with GSD = 6.44 were compiled.

Due to adverse weather conditions, there was a lodging of crops starting from the phase of entering the tube, which was noticed when shooting from a UAV. Visual assessment of orthophotos helped to identify areas with lodging of spring barley. Raster analysis of spectral maps of the Red channel allowed us to determine the crops lodging area at the phases of exit into the tube and earing. The lodging area on June 22 was 0.3045 Ha. Due to rains with strong gusts of wind, the crops lodging area increased by 0.4905 Ha and amounted to 0.795 Ha on July 2, 2020. By July 17, visual lodging was about 70-80% of the total area of the field, while applying the above algorithm was not possible, because the crops began to turn yellow and the Red channel indicators changed significantly.

The studied method for assessing the lodging of spring barley crops can be applied at the initial stages of the spring barley vegetation, i.e. before the color of the crops changes from green to yellow. The results obtained contribute to the assessment of crop losses, contacting the insurance company, and forecasting the yield in the current season.

Распределение вычислений в группах БЛА с использованием элементов концепции туманной робототехники в длительных миссиях

Иванов Д.Я.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

В работе рассмотрен сценарий применения многочисленной группы беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для мониторинга удаленных территорий. Назовем «базой»

место взлета/посадки, подзарядки и мелкого ремонта БЛА, а рабочими зонами – области мониторинга.

При длительном мониторинге время мониторинга превышает время автономной работы БЛА группы. Поэтому необходимо осуществлять замену (ротацию) БЛА из резерва, существующего на базе. БЛА, израсходовавшие бортовой энергозапас или получившие ремонтпригодные повреждения в ходе работы в рабочей зоне отправляются на базу для подзарядки и/или ремонта. После чего пополняют резерв на базе. В том случае, если удаленность рабочей зоны от базы превышает дистанцию прямой связи бортовых телекоммуникационных устройств БЛА группы, некоторые БЛА выполняют роль ретрансляторов, кружа или зависая в точках ретрансляции на маршрутах между рабочей зоной и базой.

Предлагается заменять поврежденные или израсходовавшие запас энергии БЛА теми БЛА, которые выполняют роль ретрансляторов, а БЛА-ретрансляторы заменять БЛА из резерва.

Выделим шесть видов состояния БЛА:

- Рабочий.
- Ретранслятор.
- Резервный.
- Возвращается на базу.
- Находится на подзарядке или в ремонте.
- Безвозвратно утерян.

Для организации автономной работы группы БЛА при описанном сценарии предлагается использовать элементы концепции туманной робототехники, распределенных вычислений и мультиагентного взаимодействия, а также виртуальную доску объявлений.

На бортовом вычислительном устройстве каждого БЛА запущен агент. Также на облачном сервере запущены агенты каждой рабочей области. Агенты БЛА могут взаимодействовать напрямую друг с другом, либо посредством виртуальной доски объявлений. Агенты рабочих областей взаимодействуют с агентами БЛА только через виртуальную доску объявлений.

В работе предложен граф смены состояния агентов БЛА группы, общий алгоритм агента рабочей области, общий алгоритм агента БЛА и схема замены БЛА в случае повреждения или израсходования бортового энергозапаса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект №19-07-00907.

Distribution of computations in UAV groups using elements of the concept of fog robotics in continuous missions

Ivanov D.Y.

SFU, Taganrog, Russia

The paper considers the scenario of using a large group of unmanned aerial vehicles (UAVs) for monitoring remote areas. Let's call the "base" the place of take-off/landing, recharging and minor repairs of the UAV, and the working areas – the monitoring areas.

With long-term monitoring, the monitoring time exceeds the battery life of the UAV group. Therefore, it is necessary to replace (rotate) the UAV from the reserve existing at the base. UAVs that have consumed the onboard energy reserve or have received repairable damage during work in the working area are sent to the base for recharging and / or repair. Then the reserve is replenished at the base. In the event that the remoteness of the working area from the base exceeds the distance of direct communication of the on-board telecommunication devices of the UAV group, some UAVs act as repeaters, circling or hovering at relay points on the routes between the working area and the base.

It is proposed to replace the damaged or used up the energy reserve of the UAV with those UAVs that act as repeaters, and the UAVs-repeaters to replace the UAVs from the reserve.

Let us single out six types of UAV state:

- Worker.
- Repeater.
- Reserve.

- Returns to base.
- Is being recharged or under repair.
- Is irretrievably lost.

To organize the autonomous work of a UAV group in the described scenario, it is proposed to use elements of the concept of foggy robotics, distributed computing and multi-agent interaction, as well as a virtual bulletin board.

An agent is launched on the on-board computing device of each UAV. The agents of each workspace are also running on the cloud server. UAV agents can interact directly with each other, or through a virtual bulletin board. Workspace agents interact with UAV agents only through the virtual bulletin board.

The paper proposes a graph of the state change of UAV agents in a group, a general algorithm for an agent in the work area, a general algorithm for a UAV agent, and a scheme for replacing a UAV in the event of damage or consumption of the onboard energy supply.

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, project No. 19-07-00907.

Современные подходы к проектированию систем управления БЛА

Иргалеев И.Х., Ефремов А.В., Тяглик М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе выполнен комплекс исследований по разработке системы управления для высотного беспилотного летательного аппарата. С этой целью реализована модель движения БЛА в среде Simulink Matlab с использованием имеющихся в нем программных средств для моделирования динамики движения объектов. Математическая модель позволила проводить исследования режимов управления БЛА в реальном времени. В её составе входят следующие основные элементы или модули:

- модуль расчета динамики движения БЛА;
- модуль расчета внешних сил и моментов, действующих на БЛА, включающий модули расчета аэродинамических сил и моментов, сил и моментов от тяги и веса;
- модуль обмена с рычагами управления (кабина стенда или пульт FUTABA) и с системой визуализации;
- модуль системы управления БЛА в продольном, боковом, поперечном каналах и управления двигателем.

Исходные данные для моделирования включают в себя инерционно-массовые, геометрические характеристики БЛА, модели аэродинамических сил и моментов, тяги двигателя.

Исследование динамики летательного аппарата средствами математического моделирования выявило ряд проблем БЛА. А именно: высокое перерегулирование и спиральная неустойчивость в боковом движении, а также развитие колебательного движения по углу рысканья при накренинии ЛА.

Была проведена идентификация частотных характеристик объекта управления. В соответствии с результатами исследований были определены параметры системы управления беспилотного летательного аппарата.

Экспериментальные исследования включали в себя проведение полунатурного моделирования на пилотажном стенде, в результате которого было получено практическое подтверждение корректности выбранных средств автоматизации системы управления БЛА.

На основе проведенного комплекса исследований был составлен ряд рекомендаций для использования реального автопилота в составе демонстратора при проведении летных испытаний.

Modern Approach to UAV Control Systems Design

Irgaleev I.Kh., Efremov A.V., Tiaglik M.S.

MAI, Moscow, Russia

Within the scope of this research, a suite of studies was conducted to design a control system for a high-altitude unmanned aerial vehicle. For this purpose, a UAV motion model was realized in the

Simulink Matlab environment using the software tools for modeling object dynamics available in it. The mathematical model allowed to carry out research of UAV control modes in real time. It comprises the following elements or modules:

- the UAV dynamics calculation module;
- the module of calculating the external forces and moments applied to the UAV, including modules of calculating the aerodynamic forces and moments, as well as thrust and weight forces and moments;
- the module of software connection with the inceptors (located in the simulator cockpit or on the Futaba remote control) and the visualization system;
- the UAV longitudinal, directional, and lateral control system and engine control system module.

The initial modeling data includes the mass/inertia and geometric UAV characteristics, models of aerodynamic forces and moments and engine thrust.

The study of aircraft dynamics through mathematical modeling revealed a number of issues pertaining to UAVs, namely: high overshoot and spiral instability in lateral motion, as well as the development of yaw oscillation in roll.

The frequency response characteristics of the controlled element were identified. In accordance with the research results, the parameters of the unmanned aerial vehicle control system were determined.

The experimental studies involved ground-based simulation using a flight simulator, which confirmed in practice the correctness of the selected means of UAV control system automation.

Based on the conducted studies, a list of recommendations was put together for using a real autopilot as part of the demonstrator during flight tests.

Разработка цифровой модели БПЛА самолетного типа

Исмаилов К.К., Кагенов А.М., Костошин К.В., Орлов С.А.

НИ ТГУ, г. Томск, Россия

В данной работе рассматривается беспилотный летательный аппарат (БПЛА) схемы летающее крыло с полезной нагрузкой 2 кг. Исходя из требований к летательному аппарату и с учетом технологий изготовления определены его геометрические характеристики. Расчет первого приближения БПЛА проводился итерационным способом до получения максимального значения аэродинамического качества крыла при минимальной скорости сваливания. В целях технологического упрощения изготовления БПЛА выбрана трапецеидальная форма крыла в плане. Для достижения эллиптического распределения крыло БПЛА имеет аэродинамическую и геометрическую крутку, что уменьшает индуктивное сопротивление, а отрицательная крутка на концевой части крыла повышает его устойчивость при потере скорости и сваливании [1]. В результате получено крыло с площадью 0.663 м², размахом 2.3 м, САХ 0.346 м, теоретическими скоростями полета: минимальной 14 м/с, наивысшего качества 22 м/с.

Для проверки первого приближения проведены расчеты по определению аэродинамических характеристик БПЛА при теоретических скоростях в Ansys Fluent и OpenFOAM [2]. Результаты расчетов показывают хорошее совпадение между решателями Ansys Fluent и OpenFOAM, удовлетворительно согласующимися с результатами первого приближения. Скорость наивысшего качества составила 20 м/с, которая меньше теоретической из-за большего коэффициента сопротивления формы. Минимальная скорость 14 м/с достигается при угле атаки 10 градусов. Наблюдается устойчивое поведение крыла по углу атаки на скоростях максимального качества. При увеличении угла атаки крыла выше 10 градусов возникает срыв потока на концевой части крыла, распространяющийся от кильвинглета, что может привести к опасности неуправляемого авторотационного явления – штопора. При дальнейшем увеличении угла атаки срыв распространяется в сторону средней части крыла, и при 15 градусах срыв потока занимает до 70% его площади.

Данное научное исследование (№ 8.2.31.2019) выполнено при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

Литература:

1. Егер С.М., Мишин В.Ф., Лисейцев Н.К., Бадягин А.А., Ротин В.Е., Склянский Ф.И., Кондрашов Н.А., Киселев В.А., Фомин Н.А. Проектирование самолетов: учебник для вузов – М.: Машиностроение, 1983.–616 с.

2. Kagenov A.M., Kostyushin K.V., Ismailov K.K., Kostyushina N.O., Orlov S.A., Prokhanov S.A. The development of a cloud system for investigation of UAVs aerodynamic characteristics // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1488. P. 1-5. doi:10.1088/1742-6596/1488/1/012017

Development of plane type UAV digital model

Ismailov K.K., Kagenov A.M., Kostiyushin K.V., Orlov S.A.

NR TSU, Tomsk, Russia

This paper considers an unmanned aerial vehicle (UAV) designed on flying wing configuration and has a payload of 2 kg. The wing characteristics were determined according to requirements for aircraft and taking into account manufacturing technologies. The calculation of the first approximation of the UAV was carried out iteratively until the maximum value of the aerodynamic efficiency of the plane was obtained at the minimum level-flight stalling speed. In order to technologically simplify the UAV manufacturing, a trapezoidal wing shape was chosen. To achieve an elliptic lift distribution, UAV wing has aerodynamic and geometric twist, which causes inductive drag decreasing, and the negative twist at the wing tip increases its stability in the stall event [1]. The calculations found that the wing area is 0.663 m², wingspan – 2.3 m, MAC – 0.346 m and theoretical speed: stall-speed – 14 m/s, the highest efficiency speed – 22 m/s.

To check the first approximation calculations, an analysis were provided in order to determine aerodynamic characteristics of the UAV at theoretical speeds in Ansys Fluent and OpenFOAM [2]. The simulation results obtained from Ansys Fluent and OpenFOAM are in close agreement, and are in satisfactory agreement with the results of first approximation. The highest efficiency speed obtained is 20 m/s, which is less than the theoretical speed due to higher value of parasite drag. The stall-speed of 14 m/s is achieved at angle of attack of 10 degrees. Stable behavior of the UAV is observed at flight speeds close to speed of maximum efficiency. At angles of attack above 10 degrees, a stall occurs at the wing tip, propagating from winglet-fin, which can lead to a danger of an uncontrolled autorotation – nose spin. Further with angle of attack increasing the stall widens in direction to wing root, and at 15 degrees, the stall takes up to 70% of wing area.

This research was supported by "The Tomsk State University competitiveness improvement programme" under grant № 8.2.31.2019.

References:

1. Eger S.M., Mishin V.F., Liseytshev N.K., Badyagin A.A., Rotin V.E., Sklyansky F.I., Kondrashov N.A., Kisilev V.A., Fomin N.A. *Airplane Design* – Moscow: Mashinostroenie, 1983. – 616 p.

2. Kagenov A.M., Kostyushin K.V., Ismailov K.K., Kostyushina N.O., Orlov S.A., Prokhanov S.A. The development of a cloud system for investigation of UAVs aerodynamic characteristics // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1488. P. 1-5. doi:10.1088/1742-6596/1488/1/012017

О применении функции `intlinprog` в специализированном программном комплексе планирования оптимальных маршрутов полета легких дронов с учетом действия ветра

Калашников А.И., Моисеев Д.В.

МАИ, г. Москва, Россия

До сих пор в составе специализированного программного комплекса решения задач маршрутизации полета [1] использовалась функция `binprog` пакета MATLAB и `splxlp` пакета CPLEX. В более поздних версиях пакета MATLAB функция `binprog` была заменена `intlinprog` с более широкими возможностями. В докладе обсуждены вопросы, связанные с применением функции `intlinprog` в программном комплексе планирования маршрутов полета.

Исследование возможностей функции `intlinprog` проводилось на задачах двух типов. В первой задаче определялся наискорейший замкнутый маршрут дрона для облета точечных и протяженных объектов. Во второй задаче строились маршруты полета для группы дронов, обеспечивающие наискорейший облет заданного множества точечных объектов.

В докладе отмечено, что выбор настроек функции оказывает существенное влияние на результат. Дело в том, что, задавая значения параметров можно задействовать те или иные алгоритмы решения целочисленного программирования. В частности, может быть задано преимущественное использование метода ветвей и границ.

Показано, что использование функции с настройками «по умолчанию» для решения рассматриваемых задач нецелесообразно. Авторы связывают это с тем, что предусмотренное по умолчанию использование решения ослабленной целочисленной задачи методами линейного программирования, применение эвристических процедур, а также анализ начального приближения решения задачи для случая бивалентных переменных малоэффективны.

В докладе даны рекомендации по настройкам функции `intlinprog`, позволяющие получить точное решение задачи с бивалентными переменными. Рекомендуется, в частности, настройка алгоритма ветвления с использованием псевдоцены `reliability`, условие выбора точек ветвления по лучшей проекции `simplebestproj` и запрет эвристик и отсечений.

Приведены также данные по обеспечиваемой производительности, допустимой и практической размерности решаемых задач.

Литература:

1. Моисеев Д.В., Моисеева С.Г., Односталко И.А., Чинь В.М. Программный комплекс планирования оптимальных маршрутов полета легких дронов с учетом действия ветра в зоне полета // Тезисы докладов 23-ой Международной научной конференции "Системный анализ, управление и навигация", с 1 июля по 8 июля 2018 г., г. Евпатория, Крым, Россия. – М.: МАИ, 2018 – С.139-141.

About using `intlinprog` function in special Matlab toolbox for optimal path planning light drones under wind conditions

Kalashnikov A.I., Moiseev D.V.

MAI, Moscow, Russia

Until now, the `bintprog` function of the MATLAB package and `cplexbip` of the CPLEX package have been used as part of a specialized software package for solving flight routing problems [1]. In later versions of the MATLAB package, the `bintprog` function has been replaced by `intlinprog` for more advanced features. The lecture discusses issues related to the use of the `intlinprog` function in the flight route planning software.

The study of the capabilities of the `intlinprog` function was carried out on problems of two types. In the first task, the fastest closed drone route was determined for flying around point and extended objects. In the second task, flight routes were built for a group of drones, which ensure the fastest flyby of a given set of point objects.

The report noted that the choice of function settings has a significant impact on the result. The fact is that by setting the values of the parameters, one can use certain algorithms for solving integer programming. In particular, the branch and bound method may be preferentially used.

It is shown that the use of the function with the "default" settings for solving the problems under consideration is inappropriate. The authors attribute this to the fact that the default use of the solution to a weakened integer problem by linear programming methods, the use of heuristic procedures, and the analysis of the initial approximation of the solution of the problem for the case of bivalent variables are ineffective.

The talk contains recommendations on the settings of the `intlinprog` function, which allow obtaining an exact solution to the problem with bivalent variables. It is recommended, in particular, to set up the branching algorithm using the `reliability` pseudo-price, the condition for choosing branch points based on the best projection `simplebestproj`, and prohibiting heuristics and cuts.

The data on the provided productivity, admissible and practical dimensions of the tasks being solved are also given.

References:

[1] Moiseev D.V., Moiseeva S.G., Odnostalko I.A., Chin V.M. The software package for planning optimal flight routes for light drones, taking into account the effect of wind in the flight

zone // Abstracts of the 23rd International Scientific Conference "System Analysis, Control and Navigation", from July 1 to July 8, 2018, Yevpatoria, Crimea, Russia. -- M.: MAI, 2018 - S.139-141.

Беспилотные авиационные системы. Состояние и перспективы развития нормативной базы

Карапетыан Т.С., Гумерова А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Главная цель создания авиационной нормативной базы БАС заключается в обеспечении и поддержании по возможности наивысшего уровня безопасности полетов. Применительно к БАС это означает обеспечение безопасности любого другого пользователя воздушного пространства, а также безопасности людей и имущества на земле. БАС должны отвечать таким же уровням безопасности полетов, как и воздушные суда с пилотом на борту.

Распоряжение от 3 апреля 2018 года №576-р. План мероприятий («дорожная карта») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Аэронет» предусматривает разработку и внедрение процедур, регламентирующих действия юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, использующих беспилотные авиационные системы

В качестве примера, каждый год задержки интеграции законодательной базы по БАС в национальное воздушно-космическое пространство США приводит к экономическим потерям порядка 10 млрд. долларов или 27,6 млн. \$ США ежедневно. Суммарный экономический эффект от развития индустрии БАС в течении первых трех лет с момента интеграции составил 13, 6 млрд. долларов. После чего он будет нарастать и превысит в общей сложности 82,1 млрд. \$ США в период с 2015 – 2025 годов.

Отставание в разработке необходимой нормативной законодательной и технической документации приводит к проблемам в разработке БАС, в эксплуатации и контроле за применением БАС.

Разработка современной нормативной базы приведет к снижению уровня рисков при разработке и производстве, улучшению условий участия в совместных проектах и доступа к рынкам, обеспечению экономии всех видов ресурсов, повышение эффективности и качества продукции и процессов её проектирования. Основная задача на данном этапе развития рынка БАС - активное привлечение бизнеса к разработке нормативной документации и стандартов с целью улучшения правового климата при разработке и эксплуатации БАС.

Unmanned aerial systems. Status and prospects of regulatory framework development

Karapetyan T.S., Gumerova A.V.
MAI, Moscow, Russia

The main objective of creating the UAS aviation regulatory framework is to ensure and maintain the highest possible level of flight safety. For UAS, this means ensuring the safety of any other user of airspace, as well as the safety of people and property on the ground. UAS must meet the same levels of flight safety as aircraft with a pilot on board.

Order of April 3, 2018 No. 576-p. The action plan (roadmap) to improve legislation and remove administrative barriers in order to ensure the implementation of the National Technology Initiative in the Aeronet direction provides for the development and implementation of procedures governing the actions of legal entities and individual entrepreneurs using unmanned aircraft systems

As an example, every year the delay in the integration of the UAS legislative framework into US national airspace leads to economic losses of about \$10 billion or \$27.6 million daily. The total economic effect of the development of the UAS industry in the first three years since integration amounted to 13, 6 billion dollars. After that, it will increase and exceed a total of \$ 82.1 billion since 2015 - 2025.

The lag in the development of the necessary regulatory legislative and technical documentation leads to problems in the development of UAS, in the operation and control of the use of UAS.

The development of a modern regulatory framework will reduce the level of risks in development and production, improve the conditions for participation in joint projects and access to markets, ensure savings in all types of resources, increase the efficiency and quality of products and their design processes. The main task at this stage of the UAS market development is to actively involve business in the development of regulatory documents and standards in order to improve the legal climate in the development and operation of UAS.

Определение порядка использования воздушного пространства РФ для беспилотных гражданских воздушных судов

Карапетыян Т.С., Митин Д.Е.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время страны, имеющие развитую авиационную промышленность, уделяют большое внимание к развитию БВС как военного, так и гражданского назначения.

РФ не является исключением. Уделяется повышенное внимание к развитию БВС различного применения. Среди них: создание БВС гражданского назначения для применения в нефтяной отрасли, геодезии и маркшейдерии, при производстве поисковых работ, мониторинге паводковой обстановки, лесных пожаров, при выполнении поисково-спасательных работ, в осуществлении охранно-мониторинговой деятельности, в охотничьем хозяйстве, в атмосферных технологиях, в деятельности по охране природных ресурсов. Это обусловлено экономической эффективностью, увеличением производительности труда, а также сокращением времени на получение и обработку необходимых данных.

В наши дни вопросам использования воздушного пространства и интеграции в него БАС уделяется большое внимание. В международных и национальных организациях ИКАО, RTCA, EUROCONTROL, EASA, EUROCAE, а также в Минтрансе России, Росавиации, различных бизнес-ассоциациях и некоммерческих объединениях ведутся постоянные дискуссии, на базе каких нормативных требований и технических решений должны выполняться полеты БВС в несегрегированном воздушном пространстве. Общепризнанного, согласованного и одобренного государственными регуляторами решения по порядку использования воздушного пространства для БВС в Российской Федерации на данный момент не существует.

В связи с этим актуальной задачей является анализ документов ИКАО, EASA и FAA регламентирующих вопросы использования воздушного пространства БАС и обоснование необходимости совершенствования нормативного регулирования, его гармонизации с международным регулированием.

Для создания и развития массового рынка БАС гражданского назначения РФ, а также ускорения разработки и реализации соответствующих регуляторных механизмов их интеграции в национальное воздушное пространство РФ, целесообразно проведение оптимизации нормативно – правовых документов, разработанных и действующих в РФ.

Determination of operating procedures in the Russian Federation's airspace for unmanned civil aircraft vehicle

Karapetyan T.S., Mitin D.E.

MAI, Moscow, Russia

Currently, countries with a developed aviation industry pay great attention to the development of UAVs for both military and civilian purposes.

The Russian Federation is no exception. Increased attention is paid to the development of UAV for various applications. Among them: the creation of a civil UAV for use in the oil industry, geodesy and surveying, in the production of search operations, monitoring of flood conditions, forest fires, in search and rescue operations, in the implementation of security and monitoring activities, in hunting, in atmospheric technologies, in the protection of natural resources. This is due to economic efficiency, increased labor productivity, and reduced time to receive and process the necessary data.

Nowadays, much attention is paid to the use of airspace and the integration of UAS into it. International and national organizations such as ICAO, RTCA, EUROCONTROL, EASA,

EUROCAE, as well as the Ministry of transport of Russia, the Federal air transport Agency, various business associations and non-profit associations are constantly discussing what regulatory requirements and technical solutions should be used for UAV flights in non-segregated airspace. At the moment, there is no generally recognized, agreed and approved decision by state regulators on the procedure for using the airspace for UAVs in the Russian Federation.

In this regard, an urgent task is to analyze the documents of ICAO, EASA and FAA regulating the use of UAS airspace and justify the need to improve regulatory regulation and its harmonization with international regulation.

In order to create and develop the mass market of civil UAS in the Russian Federation, as well as to accelerate the development and implementation of appropriate regulatory mechanisms for their integration into the national airspace of the Russian Federation, it is advisable to optimize the regulatory documents developed and operating in the Russian Federation.

Авиационные системы для дистанционного зондирования Земли Eagle и Веер. Устройства, обработка данных, результаты применения

¹Ковалев Ф.А., ²Мальшев В.В., ³Гектин Ю.М., ⁴Кузнецов А.Е., ¹Ковалев А.О.

¹ЦНТ, ²МАИ, ³РНИИ КП, г. Москва, Россия

⁴РГРТУ, г. Рязань, Россия

В нашем мире можно встретить множество задач, связанных с дистанционным зондированием Земли (ДЗЗ): мониторинг ледовой обстановки, поиск рыбы, мониторинг экологической обстановки, поиск неисправности в электросетях (например, перегретые изоляторы) и др. Как правило, съёмка интересующих областей – процесс довольно длительный и дорогостоящий, поэтому для решения этих задач проводится съёмка с многоуровневых средств наблюдения: летательный аппарат, космический аппарат, беспилотный летательный аппарат, различные зонды. На эти летательные аппараты устанавливается аппаратура для сбора информации. В работе рассмотрены авиационные сканеры Дистанционного Зондирования Земли такие как Eagle и Веер. Между съёмками с самолета и со спутника есть различия: самолетный сканер позволяет проводить съёмку подстилающей поверхности для поиска залежей углеводорода (УВ) или других неисправностей. Благодаря возможности снимать изображение с высоты порядка 6-7 м, можно получать изображение высокого разрешения. Основной характеристикой спутникового снимка является его пространственное разрешение. Оно выражается в размере самых мелких объектов, различимых на изображении. Входными данными могут стать любые изображения земной поверхности, которые по пространственному разрешению соответствуют картам в масштабе 1:200000 и крупнее. Далее данные подвергаются первичной и тематической обработке. В результате обработки получим карты с контурами предполагаемых месторождений углеводородов или неисправных изоляторов по материалам самолетной и спутниковой съёмки. Выделенные области и будут выступать в качестве перспективных районов для поиска неисправностей или УВ.

Aviation systems for remote Sensing of the earth Eagle and Fan. The device, processing, the results of the application

¹Kovalev F.A., ²Malyshev V.V., ³Gektin Yu.M., ⁴Kuznetsov A.E., ¹Kovalev A.O.

¹CPNT, ²MAI, ³RNII KP, Moscow, Russia

⁴RSTU, Ryazan, Russia

In our world you can meet many challenges associated with remote sensing (RS): monitoring ice conditions, finding fish, environmental monitoring, search failure in the power grid (e.g., overheated insulators), etc. As a rule, the survey of areas of interest is a rather long and expensive process, so to solve these problems, shooting is carried out with multi – level surveillance equipment: an aircraft, a spacecraft, an unmanned aerial vehicle, various probes. These aircraft are equipped with equipment for collecting information. The paper considers Aviation remote sensing scanners Such as Eagle and Fan. There are differences between aerial and satellite images: an aircraft scanner allows you to survey the underlying surface to search for hydrocarbon deposits or other faults. Thanks to the ability to shoot an image from a height of about 6-7 m, you can get a

high-resolution image. The main characteristic of a satellite image is its spatial resolution. It is expressed in the size of the smallest objects visible in the image. Input data can be any images of the earth's surface that correspond to the spatial resolution of maps at a scale of 1:200,000 or larger. Further, the data is subjected to primary and thematic processing. As a result of processing, we will get maps with the contours of suspected hydrocarbon deposits or faulty insulators based on aircraft and satellite imagery. Selected areas and will act as promising areas for Troubleshooting or SW.

Применение сборного заполнителя имеющего дискретную структуру в конструкции лёгкого БПЛА типа летающее крыло

Колпаков А.М., Долгов О.С., Назаров Е.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе предложена методика проектирования БПЛА самолётного типа имеющего аэродинамическую схему планера летающее крыло, конструктивно-силовая схема летательного аппарата выполнена в виде трёхслойной конструкции, отличительной особенностью которой является применение сборного заполнителя имеющего дискретную структуру, состоящую из гексагональных ячеек.

Проектирование ведется итерационно следующим образом. На первой итерации задается начальное распределение ячеек внутри конструкции, при этом геометрические параметры ячеек разделяются на две группы – первая группа, отвечающая за прочностные характеристики ячеек, а вторая удовлетворяющая технологическим особенностям производства слоёв заполнителя.

После создания первой итерации проводится анализ полученной конструкции на её прочностные характеристики. В виду сложности геометрической формы заполнителя конечно элементный анализ является наиболее предпочтительным, поскольку он позволяет производить расчёт подобных краевых задач. Далее путём изменения значений первой группы геометрических параметров ячеек оптимизируются прочностные характеристики конструкции.

В результате получается геометрическая форма слоёв сборного заполнителя, состоящего из сопряжённых дискретных ячеек, имеющих гексагональную форму.

Создана математическая модель, позволяющая изготовить технологические оснастки для изготовления слоёв сборного заполнителя при помощи обработки давлением, которая позволяет осуществлять серийное производство заполнителей несущих поверхностей летательных аппаратов, а в случае аэродинамической схемы планера типа летающее крыло, когда весь планер является несущей поверхностью всех внутренних элементов конструктивно-силовой схемы планера БПЛА. В данном случае предпочтительной технологией изготовления может служить термовакуумная формовка термопластичных полимерных материалов, применение которых широко распространено в мировой индустрии производства БПЛА.

Application of a prefabricated filler having a discrete structure in the design of a light drone of the flying wing type

Kolpakov A.M., Dolgov O.S., Nazarov E.V.

MAI, Moscow, Russia

The paper proposes a method for designing an aircraft-type drone with an aerodynamic scheme of the flying wing airframe. the structural and power scheme of the aircraft is made in the form of a three-layer structure, a distinctive feature of which is the use of a prefabricated aggregate having a discrete structure consisting of hexagonal cells.

Design is carried out iteratively as follows. At the first iteration, the initial distribution of cells within the structure is set, and the geometric parameters of the cells are divided into two groups: the first group is responsible for the strength characteristics of the cells, and the second group meets the technological features of the production of filler layers.

After creating the first iteration, the resulting structure is analyzed for its strength characteristics. Due to the complexity of the geometric shape of the placeholder, finite element analysis is the most preferable, since it allows the calculation of such boundary-value problems. Further, by changing

the values of the first group of geometric parameters of cells, the strength characteristics of the structure are optimized.

As a result, the geometric shape of the layers of a precast aggregate consisting of conjugate discrete cells with a hexagonal shape is obtained.

A mathematical model allows us to produce tooling for the manufacture of the precast layers of filler with a processing pressure, which allows the serial production of aggregates bearing surfaces of aircraft, and in the case of aerodynamic configuration of the glider type flying wing, when the airframe is a bearing surface of all the internal elements of the constructive-power scheme of the airframe of the drone. In this case, the preferred manufacturing technology can be thermal vacuum molding of thermoplastic polymer materials, the use of which is widespread in the global drones manufacturing industry.

Аэродинамическая оптимизация крыла беспилотного летательного аппарата большой дальности

Конохов И.К.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе исследована проблема оптимизации геометрических параметров крыла беспилотного ударно-разведывательного летательного аппарата большой дальности. Предварительные проработки компоновки приводят к аэродинамической схеме «летающее крыло» с несущей поверхностью сложной формы, состоящей из развитого центроплана малого удлинения с уширенной корневой хордой и стреловидных консолей большого удлинения. Форма крыла в плане выбрана из условий снижения радиолокационной заметности и ограничения габаритов ЛА. Оптимизации она не подвергалась.

Повышение аэродинамического качества проводилось ручным подбором геометрической кривки консолей крыла. При этом крейсерский коэффициент подъёмной силы порядка $\kappa_{\text{ср}}=0,5$. Важным ограничением стало обеспечение продольной балансировки летательного аппарата при минимальных потерях аэродинамического качества, что усложняется довольно низкой эффективностью рулей. Выбором стреловидности консолей обеспечена устойчивость, близкая к нейтральной. Сложнее оказалось обеспечить приемлемую величину коэффициента момента тангажа mz_0 – на «летающем крыле» эта задача решается только подбором профиля и кривки крыла. Выявлено, что применение на центроплане классического вогнутого профиля ведёт к необходимости слишком сильной закрутки консолей. Поэтому центроплан набран из S-образных профилей. Консоли сформированы на базе высоконесущих профилей серии Eprler. Для обеспечения путевой устойчивости их законцовки отогнуты вниз. Путём закручивания концевых сечений на $\epsilon_2=-2^\circ$ (основание законцовки) и $\epsilon_3=-4^\circ$ (сечение законцовки с $b=1$ м), получен малый mz_0 . Данный вариант принят в качестве опорного. Далее последовательным перебором двух сечений законцовки, а также бортового сечения консоли с шагом $\Delta\epsilon_i=1^\circ$ получен оптимизированный вариант, с величиной максимального аэродинамического качества, большей на $\Delta K=0,6$ по сравнению с базовым вариантом.

Предварительные расчёты и оптимизация велись в программе ЦАГИ BLWF-140 на базе численного интегрирования уравнений Эйлера, дополненного решением уравнений пограничного слоя. Аэродинамические характеристики базового и оптимизированного вариантов уточнены в ПК ANSYS CFX конечно-объёмными методами.

Aerodynamic optimization of the high altitude long endurance unmanned aerial vehicle

Konyukhov I.K.

MAI, Moscow, Russia

Problem of aerodynamic optimization of the multi-role high altitude long endurance unmanned aerial vehicle (HALE UAV) have been researched in this paper. Preliminary studies have led to "flying wing" lay-out with a low aspect ratio and high trapezoidal ratio centrebody and swept main parts of the wing of high aspect ratio. The wing shape have been chosen from the reason of radar observability reducing.

L/D-ratio improving was carried out by selecting of the wing twist. The cruising lift coefficient should be of the order of $c_{ya}=0.5$. Pitching moment and longitudinal stability derivative values were restricted by necessity of trim losses minimization. In the basic variant the wing tips was washed out for 2 degree in the root and 4 degree in the section with $b=1$ m. Centrebody have a reflected airfoil. This variant was optimized by manual searching of twist of main wing root and two sections of wing tips. The result was a variant with L/D-ratio that in order of $\Delta=0,6$ more than in the basic variant.

Preliminary calculations and optimization were performed by the TsAGI BLWF-140 program based on numerical integration of the Euler equations, supplemented by the solution of the boundary layer equations. The aerodynamic characteristics of the basic and optimized variants have refined in the ANSYS CFX using finite-volume methods.

Анализ пассажиропотока остановок городского транспорта на основе использования беспилотных авиационных систем

Костин А.С., Майоров Н.Н., Фетисов В.А.

ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия

Пассажирские перевозки представляют собой одну из основных отраслей экономики каждого города. Одной из главных проблем предприятий пассажирского транспорта является недополучение доходов, что в итоге сказывается как на качестве самих перевозок и выбору транспортных средств, работающих на маршруте, так и на обслуживании пассажиров. Наверное, перед всеми предприятиями стоит вопрос повышения эффективности работы и экономии ресурсов, поэтому учет количества пассажиров становится одной из важнейших задач. Сегодня большинство пассажироперевозчиков не имеют достоверной информации о перевозимых пассажирах по часам суток на автотранспорте. Это вызывает определенные трудности в планировании графика движения, т.к. неизвестно, сколько может понадобиться автобусов на перевозку. На практике возможно использование краткосрочного прогнозирования пассажиропотока, которое позволит с некоторой вероятностью посчитать загруженность маршрута на ближайшее время и как следствие корректировать количество автобусов на линии. Сложность представляют остановки нескольких номеров автобуса, так как пассажиропоток между ними распределен неравномерно. Конечно, ручные методы подсчета пассажиров сегодня уже неэффективны. Дополнительно необходимо исследование эффективности размещения остановок на маршруте.

Для решения задачи подсчета пассажиров предлагается использование решений на базе беспилотных авиационных систем. Решение состоит в использовании дронов и последующем анализе результатов видеозаписей с остановок. Решение использование дронов позволяет следить за большими скоплениями людей в том числе и на остановках. В результате интеграции мобильных приложений, беспроводных сетей и программных систем дроны могут оказывать помощь при подсчете пассажиров на остановках и мониторинге ситуаций. Решения на основе беспилотных авиационных систем благодаря мобильности позволят собрать данные в режиме реального времени, собрать данные по интенсивностям изменения количества людей на остановках. На основе полученных данных можно сформировать вывод о напряженности пассажиропотока по отдельным частям маршрута или в целом по его длине, по загруженности остановок, исследовать характер формирования пиковых режимов на остановках. Можно оценить эффективность размещения остановок городского транспорта. Решение на основе беспилотных авиационных систем можно использовать отдельно от транспортного средства либо конструктивно совместить с транспортным средством и собирать информации на каждой остановке.

Analysis of passenger traffic at city transport stops based on the use of unmanned aerial systems

Kostin A.S., Mayorov N.N., Fetisov V.A.

SUAI, Saint-Petersburg, Russia

Passenger traffic is one of the main sectors of the economy of every city. One of the main problems of passenger transport enterprises is the lack of income, which ultimately affects both the

quality of the transportation itself and the choice of vehicles operating on the route, and passenger service. Probably, all enterprises are faced with the issue of increasing the efficiency of work and saving resources, so accounting for the number of passengers is becoming one of the most important tasks. Today, most of the passenger carriers do not have reliable information about the passengers carried by the hours of the day by road. This causes certain difficulties in planning the timetable, because it is not known how many buses may be needed for transportation. In practice, it is possible to use short-term forecasting of passenger traffic, which will allow, with some probability, to calculate the congestion of the route for the near future and, as a consequence, adjust the number of buses on the line. It is difficult to stop several numbers of the bus, since the passenger traffic between them is unevenly distributed. Of course, manual methods of counting passengers are no longer effective today. Additionally, it is necessary to study the effectiveness of placing stops along the route.

To solve the problem of passenger counting, it is proposed to use solutions based on unmanned aircraft systems. The solution is to use drones and then analyze the results of video images from stops. The solution to the use of drones allows you to monitor large crowds of people, including at stops. By integrating mobile apps, wireless networks and software systems, drones can assist in counting passengers at stops and monitoring situations. Thanks to mobility, solutions based on unmanned aircraft systems will allow collecting data in real time, collecting data on the rates of change in the number of people at stops. Based on the data obtained, it is possible to form a conclusion about the intensity of passenger traffic for individual parts of the route or in general along its length, according to the congestion of stops, to study the nature of the formation of peak modes at stops. You can evaluate the effectiveness of the placement of public transport stops. The solution based on unmanned aerial systems can be used separately from the vehicle or structurally compatible with vehicles and collect information at each stop.

Децентрализованное управление полетом строя БПЛА на основе теории плоских систем

Костин И.Д., Попов А.М., Кострыгин Д.Г., Фадеева Ю.В.
ВОЕНМЕХ, г. Санкт-Петербург, Россия

В работе рассматривается широкий класс БПЛА, которые могут быть описаны математической моделью (9.21) из книги [1]. Это система дифференциальных уравнений 7-го порядка описывающая движения БПЛА в 3-х мерном пространстве с координированным поворотом. Управление осуществляется через изменение величин скорости и углов крена и тангажа. Данная модель является нелинейной и неаффинной по управляющим воздействиям.

В последние годы получены значительные результаты по синтезу алгоритмов децентрализованного управления для мультиагентных систем [2]. Эти методы предполагают наличие информационного графа связей между агентами, удовлетворяющего определенным и не сильно ограничительным условиям. Полученные результаты хорошо обоснованы только для линейных объектов управления, а для нелинейных только в частных случаях.

Для применения алгоритмов управления мультиагентными системами к задаче полета строя БПЛА в настоящей работе использован подход основанный на теории плоских систем [3]. Данный метод позволяет для некоторых классов динамических систем выделить так называемые плоские выходы. Через эти выходы могут быть однозначно определены все фазовые переменные системы, а также все управления. Также может быть получена линейная система дифференциальных уравнений в пространстве плоских выходов с некими виртуальными управлениями. Особенностью является то, что все траектории этой линейной системы однозначно соответствуют траекториям исходной нелинейной системы, а виртуальные управления могут быть однозначно пересчитаны в реальные сигналы управления.

Полученные алгоритмы управления были промоделированы в системе Matlab/Simulink для различных вариантов построения формации (плоское построение, 3-х мерное построение). Также моделировались ситуации с выходом их строя нескольких БПЛА и перестроением оставшихся. Рассматривался вариант с непостоянным информационным обменом между

БПЛА. Результаты показали хорошую работоспособность выбранного подхода и алгоритмов управления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZWF-2020-0015).

Литература:

1. R.W. Beard, T.W. McLain. Small unmanned aircraft: Theory and practice/ Princeton University Press , 2012.
2. W. Ren, R.W. Beard. Distributed consensus in multi-vehicle cooperative control / Springer, 2008.
3. J. Lévine. Analysis and Control of Nonlinear Systems. A Flatness-based Approach/Springer, 2009.

Decentralized flight formation control of UAVs based on the flat systems theory

Kostin I.D., Popov A.M., Kostrygin D.G., Fadeeva U.V.

VOENMEH, Saint-Petersburg, Russia

The paper deals with a wide class of UAVs, which can be described by model (9.21) from [1]. This is a system of 7th order differential equations that describes the motion of a UAV in three-dimensional space with a coordinated rotation. Control is carried out by changing the roll and pitch angles and angular velocities. This model is non-linear and non-affine in control.

In recent years, significant results have been obtained on the decentralized control of multi-agent systems, see [2]. These methods rely on an information flow graph between agents that satisfies certain conditions, which are not very restrictive. The results obtained are well substantiated for linear plants and only for some special cases of nonlinear ones.

To apply control algorithms for multi-agent systems to the problem of group flight of UAVs, in the present work an approach based on the theory of flat systems [3] is employed. This method allows the selection of so-called flat outputs for some classes of dynamical systems. All state variables of the system, as well as the control action, can be uniquely determined through these outputs. A linear system of differential equations in the space of flat outputs with some virtual controls can be also derived. A feature of the approach is that all trajectories of this linear system uniquely correspond to the trajectories of the original nonlinear system, and virtual controls can be unambiguously recalculated into real control signals.

The obtained control algorithms were simulated in Matlab / Simulink software environment for various kinds of the formation structure (flat formation 3-dimensional formation). Situations with the failure of several UAVs and rearrangement of the rest ones were also simulated. An option was considered with a time-varying information exchange between the UAVs. The simulation results showed achievement of the good system performance by application of the adopted approach and proposed control algorithms.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation (grant . FZWF-2020-0015).

References:

1. R.W. Beard, T.W. McLain. Small unmanned aircraft: Theory and practice/ Princeton University Press , 2012.
2. W. Ren, R.W. Beard. Distributed consensus in multi-vehicle cooperative control / Springer, 2008.
3. J. Lévine. Analysis and Control of Nonlinear Systems. A Flatness-based Approach/ Springer, 2009.

Управление полетом БПЛА по заданному пути на основе метода векторных полей

Кострыгин Д.Г., Попов А.М., Костин И.Д., Фадеева Ю.В.

ВОЕНМЕХ, г. Санкт-Петербург, Россия

В работе рассматривается широкий класс БПЛА, которые могут быть представлены математической моделью (9.21) из книги [1]. Это система дифференциальных уравнений 7-го порядка описывающая движения БПЛА в 3-х мерном пространстве с координированным

поворотом. Управление осуществляется через изменение величин скорости и углов крена и тангажа. Данная модель является нелинейной и неаффинной по управляющим воздействиям.

Одной из важных задач, которые должны решать БПЛА в процессе полета, является задача движения по заданному пути в пространстве. В отличие от классических задач слежения за заданной траекторией, здесь нет фиксированной привязки координат в пространстве ко времени. Для решения подобных задач используют метод векторных полей [1]. В работе [2] строго обоснован способ задания векторных полей, позволяющих формировать гладкую произвольную траекторию в пространстве. Алгоритмы управления в [2] получены только для линейных систем первого и второго порядков

В настоящей работе показано, что алгоритм управления из работы [2] может быть непосредственно применен для БПЛА, если использовать методы теории плоских систем [3]. Данный подход позволяет для некоторых объектов выделить так называемые плоские выходы. Через эти выходы могут быть однозначно определены все фазовые переменные системы, а также все управления. В результате получается линейная система дифференциальных уравнений в пространстве плоских выходов с виртуальными управлениями. Траектории этой линейной системы однозначно соответствуют траекториям исходной нелинейной системы, а виртуальные управления могут быть однозначно пересчитаны в реальные сигналы управления.

Полученные алгоритмы управления были промоделированы в системе Matlab/Simulink для различных вариантов задания требуемого пути БПЛА в пространстве. Результаты показали хорошую работоспособность выбранного подхода и алгоритмов управления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZWF-2020-0015).

Литература:

1. R.W. Beard, T.W. McLain. Small unmanned aircraft: Theory and practice/ Princeton University Press , 2012.
2. V. M. Goncalves, L. C. A. Pimenta, C. A. Maia, B. C. O. Dutra and G. A. S. Pereira. Vector Fields for Robot Navigation Along Time-Varying Curves in n-Dimensions/ IEEE Transactions on Robotics, vol. 26, no. 4.
3. J. Lévine. Analysis and Control of Nonlinear Systems. A Flatness-based Approach/Springer, 2009.

Path fellow UAV control by vector field method
Kostygin D.G., Popov A.M., Kostin I.D., Fadeeva U.V.
VOENMEH, Saint-Petersburg, Russia

The paper deals with a wide class of UAVs, which can be described by model (9.21) from [1]. This is a system of 7th order differential equations that describes the motion of a UAV in three-dimensional space with a coordinated rotation. Control is carried out by changing the roll and pitch angles and angular velocities. This model is non-linear and non-affine in control.

One of the important tasks to be solved by the UAV during the flight is the task of driving on a given path in space. In contrast to classical tracking tasks, there is no fixed coordinate reference in space to time. The vector fields method is used to solve such problems [1]. The method of vector fields specifying in [2] is strictly justified to form a smooth arbitrary trajectory in space. The control algorithms in [2] are obtained only for linear systems of the first and second orders.

This paper shows that the control algorithm from work [2] can be directly applied to the UAV if the methods of flat system theory are used [3]. This approach allows to select so-called flat outputs for some plants. Through these outputs all phase variables of the system as well as all controls can be unambiguously defined. The result is a linear system of differential equations in the space of flat outputs with virtual controls. The trajectories of this linear system unambiguously correspond to the trajectories of initial nonlinear system, and the virtual controls can be unambiguously recalculated into real control signals.

The obtained control algorithms were simulated in Matlab/Simulink software environment for different variants of specifying the required UAV path in space. The simulation results showed

achievement of the good system performance by application of the adopted approach and proposed control algorithms.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation (grant . FZWF-2020-0015).

References:

1. R.W. Beard, T.W. McLain. Small unmanned aircraft: Theory and practice/ Princeton University Press , 2012.

2. V. M. Goncalves, L. C. A. Pimenta, C. A. Maia, B. C. O. Dutra and G. A. S. Pereira. Vector Fields for Robot Navigation Along Time-Varying Curves in n-Dimensions/ IEEE Transactions on Robotics, vol. 26, no. 4.

3. J. Lévine. Analysis and Control of Nonlinear Systems. A Flatness-based Approach/Springer, 2009.

Результаты экспериментальных исследований применимости беспилотных воздушных судов для решения актуальных задач корпоративной логистики

¹Кузин Р.В., ²Ефимов А.Р., ³Пайсон Д.Б., ¹Таж В.Х.

¹МАИ, ²МИСиС, ³МГУ, г. Москва, Россия

Использование беспилотных воздушных судов (БВС) является важным трендом развития транспортных технологий и логистики. Ключевой проблемой сегодня становится целесообразность и формы перехода от исключительно информационного, наблюдательного функционала БВС к их использованию в качестве транспортных платформ

При решении задач, связанных с коммерческой доставкой грузов с помощью беспилотных авиационных систем (БАС), критически важным представляется выбор схемного решения БВС, обеспечения возможностей автономного пилотирования и безлюдного обслуживания БВС, архитектуры системы беспилотной авиационной доставки, определения бизнес-модели компании и «фокуса» относительно общей цепочки ценностей – следует ли сконцентрироваться на создании собственных БВС или на формировании бизнес-решения, основанного на покупных аппаратах

Московский авиационный институт совместно с одной из ведущих российских компаний проводили испытания технических решений в реальных условиях применительно к отдаленным территориям и моделям грузопотока, отражающим потенциальные потребности как внутрикорпоративных, так и рыночных, «товарных» перевозок. Основными целями эксперимента стали отработка элементов экосистемы оператора беспилотной доставки на примере задач транспортировки товарно-материальных ценностей в части обоснования и уточнения эксплуатационных требований к беспилотным воздушным судам, архитектуры и состава системы доставки и технико-экономических аспектов применения БВС в доставке грузов, а также выявление и поиск путей преодоления технических, правовых и инфраструктурных барьеров, возникающих при развертывании и эксплуатации комплексной системы доставки с использованием беспилотной авиации.

В октябре 2019 г. был развернут экспериментальный участок комплексной системы доставки грузов в Уральском регионе. В отличие от ранее проводившихся экспериментов, была предусмотрена разветвленная маршрутная сеть и отсутствие специально обученного логистического персонала в точке приема груза.

В ходе эксперимента была продемонстрирована техническая возможность доставки грузов в соответствии с заявленными логистическими потребностями и апробированы основные расчетные модели (включая предварительную оценку затрат на реализацию доставки). Применение БВС позволило в ряде случаев снизить время доставки груза.

Results of experimental studies of the applicability of unmanned aircraft for solving urgent problems of corporate logistics

¹Kuzin R.V., ²Efimov A.R., ³Payson D.B., ¹Takh V.H.

¹MAI, ²MISIS, ³MSU, Moscow, Russia

The use of unmanned aircraft (UAV) is an important trend in the development of transport technologies and logistics. The key problem today is the expediency and forms of transition from

the exclusively informational, observational functionality of UAVs to their use as transport platforms.

When solving problems related to commercial cargo delivery using unmanned aircraft systems (UAS), it is critical to choose the UAV schematic solution, provide Autonomous piloting and unmanned UAV service capabilities, architecture of the UAV delivery system, determine the company's business model and "focus" on the overall value chain-whether to focus on creating your own UAVs or on forming a business solution based on purchased devices.

The Moscow aviation Institute, together with one of the leading Russian companies, tested technical solutions in real-world conditions for remote territories and cargo flow models that reflect the potential needs of both intra-corporate and market-based "commodity" transportation. The main objectives of the experiment were testing elements of the ecosystem operator unmanned delivery tasks, for example transporting of inventory to justify and clarify the operational requirements for unmanned aircraft architecture and structure of the delivery system and techno-economic aspects of the use of BVS in the delivery of goods, and identifying and finding ways to overcome technical, legal and infrastructural barriers that occur in deploying and operating an integrated delivery system using unmanned aircraft.

In October 2019, a pilot section of the integrated cargo delivery system was launched in the Ural region. In contrast to previous experiments, an extensive route network and the absence of specially trained logistics personnel at the point of receiving cargo were provided.

During the experiment, the technical capability of cargo delivery in accordance with the declared logistics needs was demonstrated and the main calculation models were tested (including a preliminary estimate of the cost of delivery). The use of UAVs allowed in some cases to reduce the delivery time of cargo.

Использование БПЛА для мониторинга сельскохозяйственных угодий

Курбанов Р.К.

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия

Мировой рынок БПЛА сельскохозяйственного назначения растет. Основную долю в предложении БПЛА на мировом рынке в 2019 году занимает мультироторный тип – 56%, а самолетный тип – 39%. Эксперты полагают, что в будущем сельское хозяйство станет одним из самых крупных сегментов рынка для беспилотников.

В рамках научно-технической деятельности ФГБНУ ФНАЦ ВИМ имеет многолетний опыт по решению задач мониторинга и обработки сельскохозяйственных угодий с помощью БПЛА.

Для оценки состояния посевов и прогнозирования урожайности на производственных полях используются БПЛА самолетного типа. На селекционных полях целесообразно использовать легкие БПЛА мультикоптерного типа. В ВИМе разработана платформа для мониторинга селекционных полей, состоящая из БПЛА мультикоптерного типа, мультиспектральной камеры, подвеса и программного обеспечения. Разработана методика по мониторингу показателей для управления селекционным процессом посевов сои с использованием БПЛА на основе данных, полученных в процессе мониторинга в основные фазы вегетации посевов сои. Такой комплекс позволяет получать оперативную и достоверную информацию о состоянии селекционных культур, формировать аналитические отчеты и рекомендации для принятия управленческих решений селекционерами.

В селекции необходимо проводить измерения площади листьев в течение вегетационного периода. Для этого в Центре ВИМ было разработано мобильное приложение для оценки состояния здоровья и расчета площади листьев селекционных культур на основе свёрточных нейронных сетей глубокого обучения.

Разработано платформенное решение для высокоточного мониторинга текущего состояния посевов, динамики их развития, обнаружения проблемных зон на сельскохозяйственных полях с плановой и высотной точностью получаемых материалов до 3 см без применения опорных точек.

На базе Федерального центра ВИМ также разработано платформенное решение для дифференцированного внесения рабочей жидкости с производительностью 2 Га/час.

Разработано платформенное решение для мониторинга борщевика Сосновского на базе БПЛА и мультиспектральной камеры, способствующее идентификации борщевика на ранней стадии созревания.

Application of UAVs for monitoring agricultural land

Kurbanov R.K.

FGBSU FSAC VIM, Moscow, Russia

The global market for agricultural UAVs is growing. The main share in the supply of UAVs on the world market in 2019 is occupied by the multirotor type – 56%, and the fixed-wing type – 39%. Experts believe that in the future, agriculture will become one of the largest segments of the market for drones.

As part of its scientific and technical activities, VIM has many years of experience in solving problems of monitoring and spraying agricultural land using UAVs.

Fixed-wing UAVs are used to assess the state of crops and predict yields in production fields. In the breeding fields, it is advisable to use light UAVs of the multicopter type. VIM has developed a platform for monitoring breeding fields, consisting of a multicopter-type UAV, a multispectral camera, a suspension and software. A method for monitoring indicators for managing the selection process of soybean crops using UAVs was developed based on data obtained through the monitoring during the main phases of soybean crop vegetation. This complex allows to get timely and reliable information about the state of breeding crops, generate analytical reports and recommendations for making management decisions by breeders.

In breeding, it is necessary to measure the area of leaves during the growing season. To do this, the Center VIM has developed a mobile application for assessing the health status and calculating the leaf area of breeding crops based on deep convolutional neural networks.

A platform solution has been developed for high-accurate monitoring of the current state of crops, their development dynamics, and detection of problem areas in agricultural fields with planned and high-altitude accuracy of the obtained materials up to 3 cm without using ground control points.

The Federal center VIM has also developed a platform solution for differential spraying of working fluid with a capacity of 2 Ha / hour.

A platform solution for monitoring Sosnovsky Hogweed based on a UAV and a multispectral camera has been developed, which helps identify Hogweed at an early stage of maturation.

Диагностический комплекс на основе физически связанных беспилотного летательного аппарата и наземного колёсного робота для мониторинга дефектов наружной поверхности воздушного судна

Алёшин Б.С., Черноморский А.И., Сурков Д.А., Курис Э.Д., Лельков К.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В последние годы ряд компаний начал применять для осмотра наружной поверхности воздушного судна на его стоянке (ВС) беспилотные летательные аппараты (БЛА), в частности, мультироторного типа. Так, концерн Airbus разработал БЛА, который можно использовать для осмотра верхней части наружной поверхности ВС, но только в условиях ангара, поскольку по регламенту не допускаются свободные полёты БЛА в воздушном пространстве аэродрома [1]. При этом автоматический осмотр всей наружной поверхности ВС не реализуется. В докладе рассмотрен вариант использования для этих целей диагностического комплекса, состоящего из физически связанных БЛА и наземного колёсного робота (НКР), каждый из которых оснащен фотокамерой высокого разрешения, установленной в управляемом подвесе, а также системой обнаружения и облёта (объезда) препятствий. Предложена методология проведения мониторинга наружной поверхности ВС, которая заключается в реализации рациональных маршрутов скоординированного движения БЛА и НКР, и оптимальной ориентации фотокамер в процессе фотографирования наружной поверхности ВС. После перемещения НКР с носимым БЛА в начальную точку стоянки ВС

осуществляется измерение с помощью лазерного дальномера НКР расстояний от этой точки до стоек шасси ВС, определение в бортовом вычислителе НКР координат стоек шасси, типа ВС и его курсового угла, задание с использованием этой информации координат начальных точек, а также параметров расположения пространственно-временных траекторий БЛА для осмотра верхней части наружной поверхности ВС и НКР для осмотра нижней части этой поверхности. Для предотвращения столкновения БЛА с ВС предложено связать БЛА и НКР управляемым тросовым механизмом. При возникновении нештатной ситуации, например, при сильных порывах ветра, осуществляется управление длиной троса, при котором БЛА осуществляет экстренную посадку на площадку, расположенную на НКР. Разработаны математические модели систем ориентации, навигации и управления движением БЛА и НКР. Промоделированы процессы, реализующие предлагаемый подход к мониторингу наружной поверхности ВС.

1. Airbus привлек дрона к осмотру самолетов [Электронный ресурс]. URL: <https://nplus1.ru/news/2016/07/18/airbus> (дата обращения 01.05.2020).

A diagnostic complex based on a physically connected unmanned aerial vehicle and a ground wheeled robot for monitoring defects of the outer surface of an aircraft

Aleshin B.S., Chernomorsky A.I., Surkov D.A., Kuris E.D., Lelkov K.S.

MAI, Moscow, Russia

In recent years, a number of companies have begun to use unmanned aerial vehicles (UAVs), in particular, of a multi-rotor type, to inspect the outer surface of an aircraft in its parking lot (AC). Thus, the Airbus concern has developed a UAV that can be used to inspect the upper part of the outer surface of an aircraft, but only in a hangar, since according to the regulations, free UAV flights in the airspace of an airfield are not allowed [1]. In this case, automatic inspection of the entire outer surface of the aircraft is not implemented. The report considers the use of a diagnostic complex for these purposes, consisting of physically connected UAVs and a ground wheeled robot (NKR), each of which is equipped with a high-resolution camera installed in a controlled suspension, as well as a system for detecting and flying around (bypassing) obstacles. A methodology for monitoring the outer surface of the aircraft is proposed, which consists in the implementation of rational routes for the coordinated movement of UAV and NKR, and the optimal orientation of cameras in the process of photographing the outer surface of the aircraft. After moving the NKR with the portable UAV to the starting point of the aircraft parking, the distance from this point to the aircraft landing gear is measured using the NKR laser rangefinder, the coordinates of the landing gear, aircraft type and its heading angle are determined in the NKR on-board computer, and the coordinates of the initial points, as well as the parameters of the location of the space-time trajectories of the UAV to inspect the upper part of the outer surface of the aircraft and NKR to inspect the lower part of this surface. To prevent a collision of the UAV with the aircraft, it was proposed to connect the UAV and the NKR with a controlled cable mechanism. In the event of an abnormal situation, for example, with strong gusts of wind, the cable length is controlled in which the UAV makes an emergency landing on the site located on the NKR. Mathematical models of orientation, navigation and motion control systems for UAVs and NKR have been developed. The processes that implement the proposed approach to monitoring the aircraft outer surface are modeled.

1. Airbus attracted a drone to inspect aircraft [Electronic resource]. URL: <https://nplus1.ru/news/2016/07/18/airbus> (date of treatment 05/01/2020).

Регистрация БАС FIXAR в Канаде (Transport Canada)

Лукашов В.А.

FIXAR, г. Санкт-Петербург, Россия

Transport Canada одобрила революционный дизайн беспилотников FIXAR для полетов в Канаде, что означает, что FIXAR может запускать полеты в контролируемом воздушном пространстве и рядом с людьми, открывая небо коммерческим и промышленным клиентам. Этот прорыв происходит, когда компания официально запускает свой продукт на рынок Северной Америки.

Одобрение означает, что Transport Canada удовлетворена тем, что дрон FIXAR соответствует федеральным требованиям в соответствии с частью IX Канадских авиационных правил (CARs) и что эта дистанционно пилотируемая авиационная система (RPAS) подходит для расширенных операций как в контролируемом, так и в неконтролируемом воздушном пространстве Канады.

«Мы очень рады этому одобрению – и возможности представить уникальное решение FIXAR VTOL в Северной Америке», – говорит Василий Лукашов, генеральный директор и изобретатель FIXAR. «Эта конструкция обладает всеми преимуществами квадрокоптеров и беспилотников с неподвижным крылом, без каких-либо их недостатков».

FIXAR взлетает как вертолет, а летает как самолет. Технически это называется устройством вертикального взлета и посадки с неподвижным крылом или VTOL. Это дизайн, который предлагает удобство квадрокоптера, но имеет дальность действия и эффективность, связанные с традиционной крылатой конструкцией. Он может взлетать и приземляться где угодно, и не требуются громоздкие пусковые установки или устройства захвата.

Большинство дронов вертикального взлета и посадки с крыльями требуют изменения угла наклона двигателей при переходе от вертикального полета к горизонтальному. FIXAR использует запатентованную систему ротора с фиксированным углом, что означает меньшее количество движущихся частей или потенциальных точек отказа. Переходы плавные, и все моторы используются во время миссий. В отличие от конструкций, отключающих двигатели во время полета вперед, FIXAR не имеет «мертвого веса».

Такая конфигурация в сочетании с грузоподъемностью в два килограмма делает FIXAR идеальным решением для множества задач. Эти задачи включают: аэрофотосъемку и картографирование/фотограмметрию, лазерное сканирование (LiDAR), доставку на последнюю милю, точное земледелие, мониторинг критически важной инфраструктуры и многое другое.

Transport Canada has approved FIXAR’s drone design for flights in Canada

Lukashov V.A.

FIXAR, Saint-Petersburg, Russia

Transport Canada has approved FIXAR’s revolutionary drone design for flights in Canada, meaning the FIXAR can start flying missions in controlled airspace and near people – opening the skies to commercial and industrial clients. This breakthrough occurs as the company officially launches its product in the North American market.

The approval means that Transport Canada is satisfied the FIXAR drone meets federal requirements in accordance with Part IX of the Canadian Aviation Regulations (CARs) and that this Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) is suitable for Advanced Operations in both controlled and uncontrolled airspace in Canada.

“We are thrilled with this approval – and to bring the unique FIXAR VTOL solution to North America,” says Vasily Lukashov, FIXAR CEO and inventor. “This design has all of the benefits of both quadcopter and fixed-wing drones, with none of their downsides.”

The FIXAR takes off like a helicopter and flies like an airplane. Technically, this is referred to as a Fixed-Wing Vertical Take-off and Landing device, or VTOL. It’s a design that offers the convenience of a quadcopter but has the range and efficiency associated with a traditional winged design. It can take off and land anywhere, and no cumbersome launchers or capture devices are required.

Most VTOL drones with wings require that the angle of the motors change when transitioning from vertical to horizontal flight. FIXAR uses a patented Fixed Angle Rotor system, meaning fewer moving parts or potential points of failure. Transitions are seamless, and all motors are in use throughout missions. Unlike designs that shut down motors during forward flight, the FIXAR has no “dead weight.”

This configuration, in conjunction with its two-kilogram payload capacity, makes the FIXAR ideal for a multitude of tasks. These tasks include: Aerial photography and

mapping/photogrammetry, laser scanning (LiDAR), last-mile delivery, precision agriculture, critical infrastructure monitoring and more.

“These drones have a simple but superb design, something I appreciate as a professional commercial pilot,” says Philippe Saint-Martin, who is the FIXAR distributor for Canada. “The moment I saw one of these flies, I knew they would fill an obvious void in the RPAS world.”

Исследование алгоритма управления траекторией беспилотного летательного аппарата при выполнении маневра уклонения от атаки воздушного противника

Ляпин Н.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Современные типы БЛА по уровню своих функциональных возможностей могут выступать в качестве аналогов пилотируемых ЛА, что делает возможным их использование для решения разнообразных целевых задач [1], в том числе, для задач перехвата воздушных целей и в частности, для задачи уклонения от атаки воздушного противника. Задача уклонения возникает тогда, когда собственный БЛА является, например, разведывательным и подвергается атаке. Целью управления БЛА на этом этапе является такое, при котором в конечный момент времени применение авиационных средств поражения противником неэффективно.

В работе представлен алгоритм гарантирующего управления [2] траекторией беспилотного летательного аппарата, обеспечивающий его уклонение от атаки воздушного противника, основанный на представлении противоборствующих летательных аппаратов в шестимерном пространстве относительных нормированных координат. Проведена оценка влияния на эффективность полученного алгоритма следующих тактически значимых показателей:

- Приемистость.
- Скороподъемность.
- Поворотливость.

Эффективность представленного алгоритма оценивалась мерой того позиционного преимущества, приобретаемого уклоняющимся БЛА в момент завершения боевого маневрирования, при котором использование авиационных средств поражения преследующим его противником является неэффективным. Представлены результаты имитационного моделирования, которые отражают влияние маневренных возможностей БЛА на достигаемое им позиционное преимущество.

Проведена серия вычислительных экспериментов, результаты которых позволяют утверждать, что использование алгоритма гарантирующего управления, независимо от относительного начального состояния атакуемого БЛА и самолета-противника при сопоставимости их маневренных возможностей, в 73% случаев обеспечивает позиционное преимущество первого. При этом в наибольшей степени на позиционное преимущество, приобретаемое атакуемым БЛА, оказывает такой тактический показатель, как поворотливость, т.е. способность атакуемого БЛА выполнять горизонтальные маневры.

1. Евдокименков В. Н., Красильщиков М. Н., Оркин С. Д. Управление смешанными группами пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов в условиях единого информационно-управляющего поля. М.: Изд-во МАИ, 2015. 272 с.

2. Бухалев В. А. Основы автоматики и теории управления: учеб. для слушателей и курсантов вузов ВВС. М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2006. 406 с.

Research of the algorithm for controlling the trajectory of an unmanned aerial vehicle when performing a maneuver to evade an enemy air attack

Lyapin N.A.

MAI, Moscow, Russia

Modern types of UAVS in terms of their functional capabilities can act as analogues of manned AIRCRAFT, which makes it possible to use them to solve a variety of target tasks [1], including for the tasks of intercepting air targets and, in particular, for the task of evading an enemy air attack. The problem of evasion occurs when your own UAV is, for example, intelligence AND is under attack. The purpose of UAV control at this stage is such that at the final moment of time the use of

aircraft means of destruction by the enemy is ineffective. The paper presents an algorithm for guaranteeing control [2] of an unmanned aerial vehicle trajectory, which ensures its evasion from an enemy air attack, based on the representation of opposing aircraft in the six-dimensional space of relative normalized coordinates. The influence of the following tactically significant indicators on the effectiveness of the obtained algorithm was evaluated:

- Pick-up speed.
- Rate of climb.
- Turning ability.

The effectiveness of the presented algorithm was evaluated by the measure of the positional advantage acquired by the evading UAV at the time of completion of combat maneuvering, in which the use of aircraft weapons by the pursuing enemy is ineffective. The results of simulation modeling are presented, which reflect the influence of the UAV maneuverability capabilities on the positional advantage achieved by it.

We performed a series of computational experiments, whose results allow to assert that the use of the algorithm guaranteeing the control, regardless of the relative initial state target UAV and aircraft of the enemy at the comparability of their maneuvering capabilities in 73% of cases provides a positional advantage first. At the same time, the greatest influence on the positional advantage acquired by the attacked UAV is exerted by such a tactical indicator as agility, i.e. the ability of the attacked UAV to perform horizontal maneuvers.

1. Evdokimenkov V.N., Krasilshchikov M. N., Orkin S.D. Management of mixed groups of manned and unmanned aerial vehicles in the conditions of a single information and control field. Moscow: MAI publishing house, 2015, 272 p.

2. Bukhalev V.A. fundamentals of automation and control theory: textbook. for students and cadets of air force universities, Moscow: vvia publishing house named after prof. N.E. Zhukovsky, 2006. 406 p.

Винтовой прибор для исследования характеристик электрических двигательных установок ДПЛА

Маслов С.А., Соснов О.Р., Павлов О.В., Куприянов С.А., Тавицкий В.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В последнее время проводятся работы по увеличению продолжительности полёта ДПЛА. Для проведения исследований в этой сфере необходимы приборы, которые позволяют осуществлять замеры тяговых и энергетических характеристик силовых установок малоразмерных ЛА. Одно из таких устройств – винтовой прибор. В СКБ 602 МАИ разработан винтовой прибор, позволяющий измерять:

- Нягу винтомоторной группы в диапазоне от 0,1 до 25 кг.
- Потребляемый ток в диапазоне от 200 А.
- Напряжение аккумуляторной батареи до 100 В.
- Число оборотов воздушного винта.

Устройство представляет собой неподвижную раму, с направляющими на которых установлена винтомоторная группа (ВМГ) и система датчиков. Измерение силы тяги, развиваемой ВМГ, осуществляется при помощи тензодатчика и аналого-цифрового преобразователя НХ-711. Для измерений также используются датчики силы тока, напряжения и оборотов электромотора. Электрическая мощность, потребляемая силовой установкой, вычисляется по полученным сигналам о токе и напряжении, поступающим от датчиков. Обработка и графическое представление результатов осуществляется в Web-интерфейсе. Существует возможность производить испытания удаленно из любой точки мира. Программа отображает графические зависимости: сила тяги-потребляемая электрическая мощность; сила тяги-потребляемая сила тока; сила тяги-время; сила тяги-положение дросселя; сила тяги-обороты электромотора. Предложенное устройство так же может быть полезно на этапе предварительного проектирования малоразмерного ДПЛА для выбора мощности ДУ и типа воздушного винта.

A propeller-driven instrument for research characteristics of UAV electric propulsion systems

Maslov S.A., Sosnov O.R., Pavlov O.V., Kupriyanov S.A., Tavitskiy V.A.
MAI, Moscow, Russia

Recently, work has been carried out to increase the duration of the UAV flight. To conduct research in this area, devices are needed that make it possible to measure the traction and energy characteristics of the power plants of small aircraft. One such device is a screw device. In SDB 602 MAI, a screw device has been developed that allows you to measure:

- The thrust of the propeller group in the range from 0.1 to 25 kg.
- Consumption current in the range of 200 A.
- Battery voltage up to 100 V.
- Number of turns of the propeller.

The device is a fixed frame with guides on which a propeller-driven group (PDG) and a sensor system are installed. The measurement of the thrust force developed by the PDG is carried out using a strain gauge and an HX-711 analog-to-digital converter. For measurements, sensors of consumption current, voltage and speed of the electric motor are also used. The electrical power consumed by the power plant is calculated from the received current and voltage signals from the sensors. Processing and graphical presentation of results is carried out in the Web interface. It is possible to carry out tests remotely from anywhere in the world. The program displays graphical dependencies: thrust – consumed electric power; thrust – current consumption; thrust – time; thrust – throttle position; thrust – speed of the electric motor. The proposed device can also be useful at the stage of preliminary design of a small-sized UAV for choosing the power of the propulsion system and the type of propeller.

Проектирование беспилотной авиационной системы с беспилотным воздушным судном вертолётного типа (БВС ВТ)

Махнюк К.Б.

ООО «КБ Русь», г. Воронеж, Россия

1. Методики подхода к проектированию беспилотных вертолётных систем: несущего винта, силовой установки, редуктора, системы автоматического управления и связи.
2. Разработка технических решений, обеспечивающих достижимость эксплуатационных и ресурсных характеристик беспилотного воздушного судна.
3. Методы влияния на жизненный цикл изделия на этапе проектирования аппарата.
4. Определение компоновочной схемы, взаимное расположение систем, обеспечение доступа к узлам и агрегатам, требующим предполётной диагностики и технического обслуживания.
5. Проведение мероприятий, направленных на получение Сертификата типа на этапе проектирования
6. Выбор технологий, применяемых для изготовления особо-ответственных деталей, узлов и агрегатов.
7. Основные способы проведения программы наземных и лётных испытаний.

Design of an unmanned aircraft system with an unmanned helicopter type aircraft (UAV)

Makhniuk K.B.

“DB Rus” LLC, Voronezh, Russia

1. Approaches to the design of the unmanned helicopters and their systems: main rotor, power plant, gearbox, automatic control and communication systems.
2. Technical solutions development ensuring the achievement of operational and resource characteristics of an unmanned helicopter.
3. Product life cycle control methods at the unit design stage.
4. Determination of the layout scheme, mutual arrangement of the systems; providing access to the node aggregates, which require pre-flight diagnostics and maintenance.
5. Mandatory activities carried out in order to obtain a type Certificate at the design stage.
6. Selection of the technologies used for the crucial parts, node aggregates manufacturing.

7. The main methods of conducting a ground and flight-test program.

Результаты разработки единой концепции оптимального планирования маршрутов полета легких беспилотных летательных аппаратов

Моисеев Д.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В докладе сформулированы основные результаты разработки концепции оптимального планирования маршрута полета одиночных или группы легких беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Под легкими понимаются аппараты, воздушная скорость которых сравнима с возможными в зоне полета скоростями ветра.

Концепция позволяет на основе единого методического подхода формулировать и выполнять математическую формализацию широкого спектра задач маршрутизации полета, а также формировать математические модели, а также процедуры и алгоритмы решения этих задач, реализуя их с помощью специального программного обеспечения.

В рамках предложенной концепции были решены задачи построения разомкнутых и замкнутых оптимальных маршрутов облета локальных и протяженных, равноценных и неравноценных объектов в том числе с учетом ограничений, обусловленных техническими характеристиками БЛА и условиями их применения.

Основные положения концепции определяют:

- Область ее применения, используемую терминологию, трактовку основных используемых понятий и ключевые допущения, в рамках которых формулируются и решаются задачи маршрутизации.

- Различные модели ветрового поля в зоне полета, отличающиеся описанием значений параметров ветра как детерминированных, случайных или неопределенных.

- Процедуры математической формализации задач маршрутизации, в частности формирования множества неизвестных, нахождение которых однозначно определяет искомые маршруты полета, записи критерия и ограничений, которые необходимо учитывать;

- Процедуры и алгоритмы решения основных и вспомогательных задач маршрутизации, представляющих собой задачи булева линейного программирования.

- Порядок формирования и решения оптимизационных задач подготовки исходных данных для задач маршрутизации.

- Принципы построения программного комплекса решения задач маршрутизации полета легких БЛА, имеющего открытую архитектуру.

Regarding development of unified concept of light UAVs optimal flight routes planning

Moiseev D.V.

MAI, Moscow, Russia

The report formulates the main provisions of the concept of optimal flight planning for single or group of light UAVs. Airspeed of light UAV is comparable to the possible wind speeds in the flight zone.

The concept allows us to formalize mathematically various routing tasks and formulate procedures for solving such problems.

In accordance with the proposed concept, the tasks of constructing flat and spatial, closed and open routes were solved. Local and extended, equivalent and unequal objects were considered. The limitations due to the technical characteristics of the UAV and the conditions for their application have been taken into account.

The basic provisions of concept define:

- Application area, terminology used, interpretation of the main notions and basic assumptions;
- Various models of the wind field in the flight area. Wind parameters can be either deterministic or indeterminate.

- Procedures of mathematical formalization of the routing tasks, order of criteria and constraints recording.

- Procedures and algorithms for solving basic and auxiliary routing tasks, which are written as Boolean linear programming problems.

- The order of formation and solution of optimization problems of preparation of initial data for routing tasks.
- Principles of building a software complex for solving the problems of routing the flight of light UAVs with an open architecture.

Алгоритм выбора оптимальной высоты полёта БЛА при мониторинге пожарной обстановки

Мокрова М.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В представленной работе рассмотрен алгоритм расчета оптимальной высоты полета БЛА в процессе выполнения задачи мониторинга пожарной обстановки. Для повышения эффективности мониторинга зоны интереса целесообразно использовать групповое применение БЛА. Однако, площадь, охваченная пожаром, может быть неоднородна относительно пожарной обстановки: характеристик местности, пламени и дыма, что влечет за собой разный уровень наблюдаемости объектов интереса и безопасности БЛА. Таким образом, для увеличения эффективности применения группы БЛА в целях мониторинга пожарной обстановки необходимо учитывать все вышеописанные условия функционирования и их изменения относительно высоты полета.

Целью данной работы является повышение эффективности мониторинга за счет выбора оптимальной высоты полета БЛА над каждым очагом пожара, с учетом конкретной пожарной обстановки. Предлагаемый автором критерий эффективности мониторинга учитывает зависимость наблюдаемости объектов и безопасности БЛА при изменении высоты полета над каждым очагом пожара.

Для решения поставленной задачи указанные зависимости учитываются через уровни потерь, связанные:

1. с пропуском цели или неправильным обнаружением (ложной тревогой) объектов интереса;
2. с повреждением или потерей БЛА при воздействии на него опасных факторов пожара.

При расчете критерия эффективности использовались эмпирически выведенные модели наблюдаемости и безопасности БЛА.

Произведено компьютерное моделирование, на основании которого подтверждена работоспособность описанного алгоритма. Полученные результаты показывают, что выбранная по предложенному критерию высота полета обеспечивает минимум потерь.

Представленные алгоритмы могут использоваться при организации мониторинга пожарной обстановки с помощью группы БЛА с учетом решаемых целевых задач и требуемого уровня безопасности.

Algorithm for calculating the optimal flight altitude of a UAV when monitoring a fire situation

Mokrova M.I.

MAI, Moscow, Russia

In the presented work, an algorithm for calculating the optimal flight altitude of a UAV is considered in the process of performing the task of monitoring a fire situation. To increase the efficiency of monitoring the zone of interest, it is advisable to use the group use of UAVs. However, the area covered by a fire may be heterogeneous with respect to the fire situation: characteristics of the terrain, flame and smoke, which entails a different level of observability of objects of interest and the safety of the UAV. Thus, in order to increase the efficiency of using a group of UAVs in order to monitor the fire situation, it is necessary to take into account all the above-described operating conditions and their changes relative to the flight altitude.

The purpose of this work is to increase the monitoring efficiency by choosing the optimal UAV flight height over each fire center, taking into account the specific fire situation. The criterion of monitoring efficiency proposed by the author takes into account the dependence of the observability of objects and the safety of UAVs when the flight altitude above each fire source changes.

To solve the problem, these dependencies are taken into account through the levels of losses associated with:

1. with target skipping or incorrect detection (false alarm) of objects of interest;
2. with damage or loss of the UAV when exposed to hazardous fire factors.

When calculating the efficiency criterion, empirically derived models of UAV observability and safety were used.

Computer simulation has been carried out, on the basis of which the efficiency of the described algorithm has been confirmed. The results obtained show that the flight altitude selected according to the proposed criterion provides a minimum of losses.

The presented algorithms can be used to organize monitoring of the fire situation using a group of UAVs, taking into account the target tasks to be solved and the required level of safety.

Комбинированный подход к формированию системы ситуационного управления полетом беспилотного летательного аппарата

Морзов П.А., Дрягин Д.М.

АО «КТ-Беспилотные Системы», г. Санкт-Петербург, Россия

Создание высоконадежной системы автоматического управления с функциями автономной коррекции маршрута полета при изменении обстановки его выполнения или при необходимости изменения самого полетного задания требует применения концепции ситуационного управления. Особенностью формирования интеллектуальной системы управления беспилотным летательным аппаратом (БЛА), дополнительно выполняющей функции принятия решений по ситуации полета, является необходимость формализации ситуационной осведомленности о внешней среде и внутреннем состоянии бортового оборудования. Эти два фактора являются определяющими для описания множества состояний объекта управления и внешней среды, что позволяет построить систему принятия решений как конечный автомат, переводящий объект из состояния угрозы потери управления в новое состояние, обеспечивающее решение целевой задачи при измененной ситуации.

К внешним ситуационным факторам относятся: ветровые возмущения, метеорологическая и электромагнитная обстановка, естественные и искусственные препятствия, оперативная смена полетного задания.

Внутренние факторы: исправность оборудования, конфигурация навигационного обеспечения, отказы отдельных систем и датчиков, ограничения на управление параметрами движения и тягой, остаток топлива.

Возможность парирования внешних возмущающих факторов должна соответствовать области существования решений терминальной задачи управления и выбору траектории полета из класса допустимых.

Возможность парирования внутренних отказов должна обеспечиваться уровнем резервирования и функциональным замещением режимов управления для увеличения устойчивости к деградации системы.

Объединяющим модулем комбинированной в указанном смысле системы ситуационного управления является матрица состояний, которая может быть представлена как бинарная. Элементы матрицы – фреймы частных состояний (внешних и внутренних), каждое из которых рассматривается по принципу «пригодно-непригодно» для решения задачи полета. Заполнение матрицы состояния осуществляется системой распознавания внешних ситуаций и системой функционального контроля бортового оборудования. Поэлементная обработка матрицы проводится по продукционным правилам с помощью автомата переключения заданных параметров движения и траекторных режимов управления.

Объединение внешних и внутренних состояний с последующей логической обработкой определяет суть комбинированного подхода к созданию высоконадежной системы ситуационного управления БЛА.

Combined approach to the formation of a situational control system for the flight of an unmanned aerial vehicle

Morozov P.A., Dryagin D.M.

KT-Robotic Systems JSC, Saint-Petersburg, Russia

The creation of a highly reliable automatic control system with the functions of autonomous correction of the flight route when the environment for its implementation changes or when it is necessary to change the flight task itself requires the application of the concept of situational control. A feature of the formation of an intelligent control system for an unmanned aerial vehicle (UAV), which additionally performs the function of making decisions on the flight situation, is the need to formalize situational awareness of the external environment and the internal state of onboard equipment. These two factors are decisive for describing the set of states of the control object and the external environment, which makes it possible to build a decision-making system as a finite automaton that transfers the object from a state of threat of loss of control to a new state, which ensures the solution of the target problem in a changed situation.

External situational factors include: wind disturbances, meteorological and electromagnetic conditions, natural and artificial obstacles, operational change of the flight mission.

Internal factors: serviceability of equipment, configuration of navigation support, failures of individual systems and sensors, restrictions on control of movement parameters and traction, fuel remaining.

The possibility of parrying external disturbing factors must correspond to the region of existence of solutions to the terminal control problem and the choice of a flight trajectory from the class of admissible ones.

The ability to counter internal failures should be provided by the level of redundancy and functional replacement of control modes to increase the resistance to degradation of the system.

The unifying module of the combined situational control system in the indicated sense is the matrix of states, which can be represented as a binary one. The state matrix is filled in by the external situations recognition system and the onboard equipment functional control system. The element-by-element processing of the matrix is carried out according to the production rules using the automatic machine for switching the set motion parameters and trajectory control modes.

Combining external and internal states with subsequent logical processing determines the essence of the combined approach to creating a highly reliable system of UAV situational control.

Исследование шума беспилотного летательного аппарата с двухтактным поршневым двигателем и винтокольцевым движителем

¹Мошков П.А., ³Самохин В.Ф., ²Яковлев А.А.

¹Филиал «Региональные самолеты», ²МАИ, г. Москва, Россия

³ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Представлены результаты исследования аэродинамических и акустических характеристик беспилотного летательного аппарата (БПЛА), в состав силовой установки которого входят двухтактный поршневой двигатель и 4-х лопастной винтокольцевой движитель в толкающей компоновке. Испытания выполнены в аэродинамической трубе при различных скоростях набегающего потока и различных режимах работы силовой установки. Представлены зависимости тяги и частоты вращения винта от скорости потока, а также зависимости тяги и коэффициента тяги от относительной поступи. Спектр акустического излучения БПЛА включает в себя широкополосную и тональную составляющие. Поскольку на двигателе не установлен редуктор и 4-х лопастной воздушный винт является составным из двух 2-х лопастных, поэтому нечетные гармоники в спектре относятся к акустическому излучению поршневого двигателя, четные относятся к шуму и двигателя и воздушного винта. Показано, что уровни шума до частоты первой гармоники шума силовой установки обусловлены шумом турбулентного потока в аэродинамической трубе. Рассмотрено влияние частоты вращения и скорости набегающего потока на уровни тональных составляющих шума беспилотного летательного аппарата. Доминирующим источником шума БПЛА является двухтактный поршневой двигатель. Вклад винта наблюдается во второй и четвертой

гармониках в спектре излучения. Суммарная звуковая мощность силовой установки пропорциональна частоте вращения коленвала двигателя в степени 5,3. Акустический КПД силовой установки в зависимости от режима работы составляет от 0,21 до 0,91 %.

Study of the noise sources of an unmanned aerial vehicle with a two-stroke piston engine and shrouded propeller

¹Moshkov P.A., ²Samokhin V.F., ³Yakovlev A.A.
¹IRKUT Corporation Regional Aircraft, ²MAI, Moscow, Russia
³TsAGI, Zhukovsky, Russia
Moscow, Russia

The results of a study of the aerodynamic and acoustic characteristics of an unmanned aerial vehicle (UAV) are presented. Its power plant includes a two-stroke piston engine and 4-bladed shrouded pusher propeller. The tests were performed in a wind tunnel at different speeds of the incoming flow and different power conditions of the power plant. The dependence of the thrust and rotation speed of the propeller on the flow velocity, as well as the dependence of the thrust and the thrust coefficient on advance ratio is presented. The acoustic radiation spectrum of the UAV includes broadband and tonal components. Since the engine does not have a gearbox and the 4-blade propeller is a composite of two 2-blade ones, so the odd tones in the spectrum refer to the acoustic radiation of the piston engine, the even ones refer to the noise of both the engine and the propeller. It is shown that the noise levels up to the frequency of the first tone of the power plant noise are caused by the turbulent flow noise in wind tunnel. The influence of the rotation speed and the incoming flow velocity on the noise levels of tonal components of UAV is considered. The dominant source of drone noise is a two-stroke piston engine. The propeller contribution is observed in the second and fourth tones in the radiation spectrum. The overall sound power of the power plant is proportional to the engine speed to the degree of 5.3. The acoustic efficiency of the power plant is from 0.21 to 0.91 % depending on the power conditions.

Выбор оптимальных углов отклонения вектора суммарной тяги винтомоторной группы беспилотного электроконвертоплана в установившемся самолетном режиме полёта

Мулин П.В., Березуев А.В., Бусурин В.И.
МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается электроконвертоплан с вентиляторной винтомоторной группой, расположенной по схеме тандем. Традиционно на конвертопланах при переходе от вертолётного к самолётному режиму полёта вектор суммарной тяги поворачивается на 90 град и остается таким на всех самолетных режимах полёта. Благодаря большим значениям аэродинамического качества и скорости полета самолетный режим является наиболее длительным. Он используется на режимах набора высоты, крейсерского полета и при снижении. Однако, современные источники электрической энергии, применяемые на БЛА, имеют низкую удельную энергию по сравнению с традиционным топливом. Поэтому особенно важно сократить расход энергии и тем самым увеличить дальность, время полета электроконвертоплана в самолетном режиме. Этого можно достигнуть путем увеличения его аэродинамического качества, вместе с тем аэродинамическое качество конвертопланов существенно уступает традиционным БЛА самолетной аэродинамической схемы.

В работе исследовалась возможность улучшения энергоэкономических характеристик беспилотного электроконвертоплана в установившихся самолетных режимах полёта путем уменьшения потребной суммарной тяги винтомоторной группы, ее мощности. Это достигается за счет выбора оптимальных углов отклонения вектора суммарной тяги электроконвертоплана. В предлагаемом подходе угол отклонения вектора суммарной тяги является переменным в зависимости от аэродинамических характеристик электроконвертоплана. Поскольку винтомоторная группа оснащена приводами для их поворота, то такой подход легко реализуется штатными средствами. Отклонение вектора суммарной тяги, с одной стороны, приводит к увеличению эффективного значения аэродинамического коэффициента подъемной силой, а с другой стороны, сопровождается

уменьшением проекции вектора суммарной тяги на вектор скорости полета и изменением лобового сопротивления. Это обстоятельство и обуславливает необходимость решения задачи оптимизации с целью улучшения энергоэкономических характеристик электроконвертоплан.

В работе приводится методика расчета оптимальных углов отклонения вектора суммарной тяги на основании уравнений установившегося движения электроконвертоплана на режимах набора высоты, крейсерского полета и при снижении с использованием априорной информации о его аэродинамических характеристиках.

Литература:

1. Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полёта. Траектории летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1969. – 500 с.

Selection of optimal angles of the total thrust vectoring of the propeller group of an unmanned electric tiltrotor in a steady-state airplane flight

Mulin P.V., Berezuyev A.V., Busurin V.I.

MAI, Moscow, Russia

In the work, we consider an electric tiltrotor with a fan propeller group located in tandem. A special feature of the electric tiltrotor is the ability to combine helicopter and airplane flight modes. Traditionally, on convertiplanes, when switching from helicopter to airplane flight mode, the total thrust vector turns by 90 degrees and remains this way on all airplane flight modes [1]. Due to the high values of aerodynamic quality and flight speed, the airplane mode is the longest. It is used in climb, cruise, and descent modes. However, modern sources of electric energy used on UAVS have a low specific energy compared to traditional fuel. Therefore, it is especially important to reduce energy consumption and thereby increase the range and flight time of an electric tiltrotor in airplane mode. This can be achieved by increasing its aerodynamic quality, however, the aerodynamic quality of convertiplanes is significantly inferior to traditional UAV aircraft aerodynamic scheme.

In the work investigated the possibility of improving the energy efficient performance of an unmanned electric tiltrotor in steady-state aircraft flight modes by reducing the required total thrust of the propeller group and its power. This is achieved by selecting the optimal angles of deviation of the total thrust vector of the electric tiltrotor. In the proposed approach, the angle of deviation of the total thrust vector is variable, depending on the aerodynamic characteristics of the electric tiltrotor. Since the propeller group is equipped with drives for turning them, this approach is easily implemented by standard means. The total thrust vectoring, on the one hand, leads to an increase in the effective value of the aerodynamic coefficient of lift, and on the other hand, is accompanied by a decrease in the projection of the total thrust vector by the flight speed vector and a change in drag. This circumstance makes it necessary to solve the optimization problem in order to improve the energy efficient performance of electric tiltrotor.

In the work presents a method for calculating the optimal angles of deviation of the total thrust vector based on the equations of steady-state motion of an electric tiltrotor in the climb, cruise flight and descent modes using a priori information about its aerodynamic characteristics.

References:

1. Ostoslavsky I. V., strazheva I. V. Flight dynamics. Trajectories of aerial vehicle. – Moscow: Mashinostroenie, 1969. – 500 p.

Система посадки роя малых беспилотных воздушных судов

¹Назаров А.С., ¹Воспитанюк А.В., ²Пасечников Р.И., ¹Пасечников И.И.

¹ТГУ имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия

²АО «Альфа-банк», г. Москва, Россия

Применение роя малых беспилотных летательных аппаратов (МБЛА) сопровождается задачей посадки МБЛА на роботизированную платформу. Особенностью ее решения является способ ожидания большого количества МБЛА в процессе посадки одного из них. Так как МБЛА может быть самолетного типа, то процесс нахождения в зоне ожидания представляет собой определенные круговые движения МБЛА вокруг роботизированной посадочной платформы (УРП). Для посадки роя МБЛА предлагается использовать

многомерную пространственно упорядоченную структуру. Ее вариант – тороидальная самоподобная структура, представляемая двумерной кольцевой с точками, координаты которых формируют в горизонтальной плоскости кольцо из множества сегментов кольцевой структуры той же размерности в вертикальной плоскости. Упорядоченность структуры означает наличие в кольцевых структурах точек, соответствующих верхней и нижней граням. Направления входа в зону посадки определяется сегментацией тороидальной структуры в горизонтальной плоскости. Упорядоченность кольцевых структур в вертикальной плоскости позволяет ввести фазовые сдвиги в кольцевых маршрутах трехмерного пространства. За счет различного временного поступления в сектор зоны ожидания МБЛА за каждым из них закрепляется маршрут движения в зоне ожидания с соответствующим фазовым сдвигом в вертикальной плоскости. В результате количество ожидающих посадки МБЛА может достигать количеству точек в тороидальной структуре. Для организации одновременного процесса посадки и взлета множеств МБЛА необходимо пространственно-временной ресурс зоны ожидания разделить на соответствующие два подмножества. Движение в пространственно-временной структуре является однонаправленным. В зависимости от алгоритма доступа МБЛА из зоны ожидания в точку начала линии посадки, могут использоваться точки определенного уровня, например, соответствующие верхней грани, перед достижением которых осуществляется запрос МБЛА на посадку. Посадка может осуществляться одновременно несколькими МБЛА в зависимости от возможности УРП. Для решения задачи аварийной посадки в системе предусматриваются маркерные точки на земной поверхности, например, под каждой вертикальной структурой. При прохождении МБЛА определенной точки в сегменте разрешается посадка в аварийном режиме.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Образования и науки Российской Федерации в рамках Соглашения от «26» ноября 2018 г. № 14.577.21.0284 (номер Соглашения в системе «Электронный бюджет» 075-02-2018-157).

Landing system for a swarm of small unmanned aerial vehicles

¹Nazarov A.S., ¹Vospitanyuk A.V., ²Pasechnikov R.I., ¹Pasechnikov I.I.

¹Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia

²Alfa-Bank JSC, Moscow, Russia

The use of a swarm of small unmanned aerial vehicles (SUAV) is accompanied by the task of landing SUAV on a robotic platform. Solution of the task is associated with the way of queuing for a large number of SUAV during landing of one of them. For the aircraft type SUAV aerial waiting area could be represented by certain circular motion around robotic landing platform (RLP). To land a swarm of SUAV, it is proposed to use a multidimensional spatially distributed structure. For example - toroidal self-similar structure represented as two dimensional ring of points, coordinates of which forms the horizontal plane ring of same dimensional vertical circular segments. Orderly structure in that case means the presence of points in the ring structures corresponding to the upper and lower faces. Entry point into the landing zone is determined by the toroidal structure segmentation in the horizontal plane. The ring structures ordering in the vertical plane makes it possible to introduce phase shifts in the circular paths of three-dimensional space. Each SUAV is assigned with a route in the waiting area with a corresponding phase shift in the vertical plane. As a result, the number of SUAV waiting to land can reach the number of points in the toroidal structure. To organize the simultaneous process of landing and takeoff of SUAV swarms, it is necessary to divide the space-time resource of the waiting area into two subsets correspondingly. Movement within the space-time structure is unidirectional. Different points on structure could be used as gateways for SUAV to move from waiting area to landing line depending on the selected algorithm. For example, it could be the points corresponding to the upper edge, before reaching which the SUAV requests for landing permission. Landing can be performed simultaneously by multiple SUAV, depending on the RLP capabilities. Emergency landing task can be solved using marker points on the earth's surface, for example, under each vertical structure. When the SUAV passes specific point within the segment, an emergency landing is allowed.

Методический аппарат аналитической оценки характеристик образцов беспилотных авиационных систем

Наумов Р.С., Дрозд А.С., Благодарящев И.В.
ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е.Жуковского», г. Москва

В последние годы мировой рынок коммерческих беспилотных авиационных систем (БАС) устойчиво развивается. Все больше компаний из различных отраслей экономики проявляют интерес к БАС как инструменту выполнения авиационных работ. Формируются представления по целевому предназначению и основным требованиям к характеристикам БАС. В настоящее время на рынке широко представлены БАС, особенно с беспилотными воздушными судами массой до 30 кг. Для скорейшего оснащения заинтересованных организаций современными наиболее подходящими для выполнения авиационных работ БАС, проводится отбор готовых образцов на предмет установления их соответствия требованиям потенциальных потребителей.

В целях сокращения материальных и временных затрат видится целесообразным проведение предварительного обследования и обоснования соответствия фактического технического уровня БАС заданным требованиям. Для этого необходимо разработать методический аппарат, позволяющий проводить количественную оценку характеристик БАС.

Представленный в статье методический аппарат аналитической оценки образцов БАС, состоит в том, чтобы по описанию имеющегося объекта определить степень соответствия предлагаемого образца требованиям потребителя. То есть создается решающее правило, позволяющее формировать заключения-оценки соответствия между предъявляемыми и фактически реализованными в предлагаемом и потребном образцах БАС свойствами с учетом допустимой меры (порога) соответствия желаемых и фактических свойств в обследуемом образце БАС.

Полученная оценка, основанная на полезности и состоятельности предлагаемых технических решений, может оказать существенную помощь при выборе рационального варианта при экспертизе нескольких однотипных образцов БАС.

Methodological apparatus for analytical evaluation of the characteristics of samples of unmanned aircraft systems

Naumov R.S., Drozd A.S., Blagodaryashchev I.V.
National Research Center «Zhukovsky Institut», Moscow

In recent years, the global market for commercial unmanned aircraft systems (UAS) has been steadily developing. More and more companies from various sectors of the economy are showing interest in UAS as a tool for performing aviation work. Views are formed on the intended purpose and the main requirements for the characteristics of the BASS. Currently, UAS are widely available on the market, especially with unmanned aircraft weighing up to 30 kg. In order to quickly equip interested organizations with modern UAS that are most suitable for performing aviation work, ready-made samples are selected to determine their compliance with the requirements of potential consumers.

In order to reduce material and time costs, it seems appropriate to conduct a preliminary survey and justify the compliance of the actual technical level of the UAS with the specified requirements. To do this, it is necessary to develop a methodological apparatus that allows quantitative assessment of the characteristics of UAS.

The methodological apparatus for analytical evaluation of UAS samples, presented in the article, consists in determining the degree of compliance of the proposed sample with the requirements of the consumer based on the existing object description. In other words, created decisive rule that is allows forming compliance conclusions-assessments between presented and actually properties implemented in the proposed and required UAS samples, taking into account the permissible measure (threshold) of compliance of the desired and actual properties in the UAS sample under examination.

The resulting assessment, based on the usefulness and consistency of the proposed technical solutions, can provide significant assistance in choosing a rational option for the examination of several samples of the same type of UAS.

Совершенствование архитектуры универсальной роботизированной платформы, предназначенной для базирования роевых структур малых беспилотных летательных аппаратов

Пасечников И.И., Воспитанюк А.В., Назаров А.С., Рыбаков Д.В.

ТГУ имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия

Целью работы является повышение устойчивости и эффективности функционирования универсальной роботизированной платформы (УРП) при приеме на обслуживание малых беспилотных летательных аппаратов (МБЛА) с высокой плотностью потока в режиме посадки.

УРП обеспечивает базирование, техническое обслуживание, взлет и посадку разнотипных МБЛА. Организация УРП в сеть позволяет реализовать задачи управления воздушным движением МБЛА в сетевом пространстве, информационное взаимодействие объектов системы и пользователей, применение ресурса облачного пространства, Интернет и др. Важное значение при этом имеют показатели информационной эффективности сети, надежности и структурной устойчивости.

В условиях высокой интенсивности МБЛА, когда время обслуживания УРП одного МБЛА (его посадки) существенно превышает интервал их поступления на УРП, либо в условиях приема роя МБЛА, появляется необходимость создания очереди множества МБЛА в воздушном пространстве. В связи с этим предлагается:

- Рассматривать УРП как обслуживающее устройство системы массового обслуживания, где в качестве буферного устройства (накопителя) применяется специализированная структурированная пространственно-временная зона ожидания (ПВЗО) с соответствующей подсистемой управления в УРП;

- На основе использования аналогий функциональных задач сетевой системы УРП и МБЛА и эталонной модели взаимодействия открытых систем, применяемой в телекоммуникационных сетях, создавать протоколы взаимодействия ПВЗО и УРП с применением технологий локальных вычислительных сетей, в частности канального уровня, реализующие множественный доступ к общему ресурсу системы. Применение такого подхода позволит использовать эффективные способы взаимодействия множества МБЛА с УРП при ее обслуживании.

В результате, для решения задачи посадки роя МБЛА, УРП должна дополнительно включать в себя специализированную подсистему управления МБЛА в зоне посадки, которая формирует ПВЗО, изменяет ее параметры и поддерживает эффективное функционирование с множеством в ней МБЛА.

Improving the architecture of the universal robotic platform for a small unmanned aerial vehicle swarms service

Pasechnikov I.I., Vospitanyuk A.V., Nazarov A.S., Rybakov D.V.

Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia

The objective of the work described is the universal robotics platform (URP) stability and efficiency improvement for small unmanned aerial vehicles (SUAV) during high traffic density landing.

URP provides storage, maintenance, takeoff and landing services for SUAV of different types. Integration of the URPs into wide area network allows to solve the air traffic control tasks for SUAV within network space, information interaction of system objects and users, internet access, cloud services usage, etc. At the same time, Information efficiency of the network, reliability and structural stability are important.

In conditions of high SUAV traffic density, when the service (landing) time of one SUAV significantly exceeds interval of their arrival at the URP or when SUAV works with the swarm, necessity of a queue creation in airspace appears. To achieve this it is proposed:

Consider URP as a service node of the queuing system, where queue buffer is represented as a specialized structured space-time waiting area (STWA) with the corresponding control subsystem in the URP.

Using the analogies of functional tasks of URP and SUAV network system and The Open Systems Interconnection (OSI) model of a telecommunication systems, create interaction protocols for STWA and URP. Based on local area network technologies, in particular – data link layer implementing multiple access to the common system resources. This approach provides effective methods for interaction between multiple SUAV and URP.

As a result, URP must additionally include a specialized control subsystem for SUAV in a landing zone. For the proper landing task solution, the subsystem forms a STWA, changes its parameters and maintains effective platform functioning with a plurality of UAVs.

Сравнительный анализ различных аэродинамических схем перспективных беспилотных конвертопланов

Петрухин В.А., Кошелев Б.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время одним из перспективных направлений по улучшению летно-технических характеристик беспилотных летательных аппаратов (БЛА) представляется создание гибридных БЛА типа «конвертоплан». Конвертопланами являются воздушные суда, способные осуществлять вертикальный взлет и посадку как вертолет и длительный высокоскоростной полет как самолет, благодаря преобразованию (реконфигурации) несущедвижительной системы [1]. БЛА типа конвертоплан сочетают в себе достоинства вертолетных и самолетных конструктивных схем, но при этом резко усложняется задача разработки системы автоматического управления угловым положением и траекторным движением БЛА такого типа, при этом уровень сложности задачи управления предопределяется аэродинамической схемой компоновки конвертоплана.

В данной работе проанализированы возможные варианты аэродинамической компоновки беспилотных конвертопланов, проведена классификация аэродинамических схем их построения с позиции демонстрации возможных принципов и технологий управления. Выявлены следующие принципиальные схемы построения конвертопланов:

- Схема с поворотом всего корпуса аппарата.
- Схема с поворотными винтами и неподвижным крылом.
- Схема с поворотными винтами и крыльями.
- Схема с отклонением воздушного потока от винтов.
- Схема с останавливаемыми в полете несущими винтами, превращаемыми в крыло.
- Схема с поворотными и тяговым(и) винтом(ами).

Проведенный на основе многочисленных публикаций сравнительный анализ различных аэродинамических схем показал, что разработки беспилотных конвертопланов проводятся широким фронтом по всем направлениям, что объясняется разнообразием решаемых БЛА задач и условий эксплуатации. Вместе с тем, следует отметить, что определенное предпочтение отдается тандемной аэродинамической схеме конвертоплана [2] и схеме с тремя винтовыми движителями [3].

Comparative analysis of various aerodynamic schemes of promising unmanned convertiplanes

Petrukhin V.A., Koshelev B.V

MAI, Moscow, Russia

Currently, one of the promising areas for improving the flight performance of unmanned aerial vehicles (UAVs) is the creation of hybrid UAVs of the "tiltrotor" type. Tiltrotor aircraft are aircraft capable of vertical take-off and landing as a helicopter and long-term high-speed flight as an aircraft, due to the transformation (reconfiguration) of the non-essential propulsion system [1]. UAVs of the tiltrotor type combine the advantages of helicopter and aircraft design schemes, but at the same time, the task of developing an automatic control system for the angular position and

trajectory motion of a UAV of this type is sharply complicated, while the level of complexity of the control task is predetermined by the aerodynamic configuration of the tiltrotor.

In this paper, the possible options for the aerodynamic layout of unmanned converters are analyzed, the classification of aerodynamic schemes for their construction is carried out from the standpoint of demonstrating possible principles and control technologies. The following schematic diagrams of tiltrotor construction are revealed:

- Scheme with the rotation of the entire UAV body.
- Scheme with rotary propellers and a fixed wing.
- Scheme with rotary propellers and wings.
- Scheme with the deflection of the air flow from the propellers.
- A scheme with rotary propellers that can be stopped in flight and converted into a wing.
- Scheme with rotary and traction propellers.

A comparative analysis of various aerodynamic schemes, carried out on the basis of numerous publications, showed that the development of unmanned converters is carried out on a wide front in all directions, which is explained by the variety of tasks and operating conditions being solved by UAVs. At the same time, it should be noted that a certain preference is given to the tandem aerodynamic configuration of the tiltrotor [2] and the scheme with three propellers [3].

Концепция построения авиационной беспилотной транспортной сети

¹Пономарев П.А., ²Калягин М.Ю., ²Соснов О.Р., ¹Воронов В.В.

¹АО «Кронштадт», ²МАИ, г. Москва, Россия

Сегмент разработки и применения беспилотных летательных аппаратов стал наиболее динамично развивающимся в мировой авиационной отрасли. Актуальной становится задача построения авиационной беспилотной транспортной сети (АБТС). Экономическая эффективность АБТС может быть достигнута за счет снижения стоимости авиационных грузоперевозок путем роботизации всех процессов воздушной доставки грузов, включая управление полетом, применения беспилотных воздушных судов (БВС) различного типа и внедрения цифровых сетевых технологий для создания сервисов по доставке грузов.

Основные положения концепции:

1. АБТС строится на основе самостоятельных и интегрируемых транспортно-логистических узлах-хабах.
2. БВС решают две различные, но взаимосвязанные задачи: 1) транспортировка грузов между хабами; 2) транспортировка на необорудованные площадки.
3. АБТС служит для оперативной доставки разрешенных к перевозке авиационным видом транспорта грузов для бизнеса, производства, населения и медицины.
4. АБТС должна повышать транспортную связанность территории России и обеспечивать завоз грузов в труднодоступные районы.

АБТС состоит из следующих составных частей: БВС аэродромного и внеаэродромного базирования, хабов, наземных комплексов управления.

Формирование обликов и разработка БВС для АБТС осуществляется исходя из задач обеспечения: 1) минимальных эксплуатационных расходов 2) рыночной потребности в оперативной транспортировке грузов. Основной идеей является формирование облика БВС, как и других составных частей АБТС, исходя из оптимального размещения стандартизированной грузовой единицы (паллеты, контейнера и т.п.).

БВС аэродромного базирования, при правильной постановке требований и реализации их на практике, могут быть эффективней наземного транспорта по критерию скорости доставки и дешевле по сравнению с существующими средствами авиационных перевозок. Они обеспечат выполнение транспортного сообщения между хабами. Самолет нормальной схемы представляется наиболее перспективным типом летательного аппарата при проектировании БВС аэродромного базирования для АБТС.

БВС внеаэродромного базирования обеспечат выполнения транспортного сообщения по направлениям «хаб – необорудованная площадка». При выполнении требований по надежности, оперативности и экономическим затратам, данный тип сообщения должен быть

конкурентоспособен с эксплуатируемыми в настоящее время винтокрылыми летательными аппаратами.

Construction concept of an aviation unmanned transport network

¹Ponomarev P.A., ²Kalyagin M.Yu., ³Sosnov O.R., ¹Voronov V.V.

¹JSC “Kronstadt”, ²MAI, Moscow, Russia

The segment of development and application of unmanned aerial vehicles has become the most dynamically developing in the global aviation industry. The task of building an unmanned aviation transport network (UATN) is becoming topical. The economic efficiency of UATN can be achieved by reducing the cost of air cargo transportation by robotizing all air cargo delivery processes, including flight control, using unmanned aerial vehicles (UAVs) of various types, and introducing digital network technologies to create cargo delivery services.

The main provisions of the concept:

1. UATN is built on the basis of independent and integrable transport and logistics hubs. The hub is a robotic complex for receiving, sorting and extradition cargo to the end user or UAV for further transportation.

2. UAV solve two different, but interrelated tasks: 1) cargo transportation between hubs; 2) transportation to unprepared areas

3. UATN serves for the prompt delivery of cargo permitted for transportation by air transport for business, industry, medicine and local customers.

4. UATN should increase the transport connectivity of the territory of Russia and ensure the delivery of cargo to hard-to-reach areas.

UATN consists of the following components: aerodrome and off-aerodrome UAVs, hubs, ground control complexes.

The formation of the appearance and the development of UAVs for UATN is carried out from the tasks of providing: 1) minimum operating expenditure 2) market demand for cargo transportation. The main idea is the formation of the appearance of the UAV, like other components of the UATN, based on the optimal placement of a standardized cargo unit (pallet, container, etc.).

Airfield-based UAVs, with the correct formulation of requirements and their implementation in practice, can be more efficient than ground transport in terms of delivery speed and cheaper in comparison with existing means of air transportation. They will ensure the implementation of transport communications between hubs. An airplane of a normal scheme seems to be the most promising type of aerodrome-based UAV for UATN.

The off-aerodrome UAVs will ensure the execution of transport communications in the «hub - unprepared area». If the requirements for reliability, efficiency and economic costs are met, this type of transport communication should be competitive with the currently operated rotary-wing aircraft.

Повышение энергоэффективности и длительности полета поисковых гибридных электрических диск-БПЛА с аэростатической разгрузкой и солнечными системами

¹Поняев Л.П., ¹Куприков М.Ю., ¹Куприков Н.М., ²Domjan R.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²Solar Xplores S.A., г. Ивердон-ле-Бен, Швейцария

Проведен комплексный цифровой проектный анализ при поиске новой оптимальной структуры гибридного электрического поискового беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с аэростатической разгрузкой за счет комплексирования с диск-дирижаблем по типу концептуального малого проекта АЛА Термоплан МАИ. Сочетание высокой маневренности и независимости от горизонтально направленных ветровых нагрузок при симметричной диск-форме БПЛА позволяет выбирать оптимальные траектории полета при выполнении поисковых операций и телемониторинга с воздуха. При этом использование дополнительной «всплывной» аэростатической подъемной силы от внутреннего наполнения гелием диск-дирижабля обеспечивает высокую энергоэффективность АЛА-БПЛА и повышает дальность и полетное время на одной зарядке от 20-30 минут до 1,5-2 часов с использованием направленных попутных ветров на различных высотах.

Проведен анализ различных концепций АЛА-БПЛА с применением традиционных сигарообразных дирижабельных компонентов и выявлены их основные недостатки с учетом требований компактности и мобильности доставки к месту поисковых полетов над лесными массивами и в горной местности, что было основным требованием в конкурсе лучших концепт-проектов поисково-спасательных дронов в формате «Одиссея-2019» под эгидой и финансирования АФК «Система» и мобильной вертолетной службы спасения в Подмоскowie и в других регионах.

Использованы тренды и результаты совместного научно-технического сотрудничества со швейцарской компанией по проекту двух местного высотного электросамолета SOLARSTRATOS с солнечными батареями по всей поверхности крыла и горизонтального оперения, приоритет которой связан с разработками солнечных высокоэффективных систем для водного, наземного и воздушного экологического мобильного электротранспорта. Приведена оценка рентабельности дискообразных АЛА-БПЛА для оптимального аэродинамического и весового качества конструкции и изготовления по сравнению с другими формами эллиптической или сигарообразной геометрии. Новые инновационные технологии включают в себя новые композиционные материалы, безотходные аддитивные технологии цифрового производства и адаптивные трансформ-конструкции с наполнением гелием или водородом для использования БПЛА в труднодоступных регионах и полярных транспортных операциях, что упрощает обслуживание и удешевляет затраты на жизненный цикл.

Improving the energy efficiency and flight duration of search hybrid electric disk UAVs with aerostatic unloading and solar systems

¹Ponyaev L.P., ¹Kuprikov M.Yu., ¹Kuprikov N.M., ²Domjan R.

¹MAI, Moscow, Russia

²Solar Xplores S.A., Yverdon-les-Bains, Switzerland

A complex digital design analysis was performed for new optimal structure of a hybrid electric search unmanned aerial vehicle (UAV) with energy efficiency via aerostatic unloading due to integration with a disk-airship of the type of the conceptual small project ALA Thermoplane MAI. The combination of high maneuverability and independence from horizontally directed wind loads with a symmetrical UAV disk shape allows to choose the optimal flight paths when performing search operations and aerial telemonitoring. At the same time, the use of additional aerostatic lift from the internal helium filling of the disk-airship ensures high energy efficiency of the ALA-UAV and increases the range and flight time on a single charge from 20-30 minutes to 1.5-2 hours using directed winds at various altitudes.

The analysis of various ALA-UAV concepts using traditional cigar-shaped airship components was carried out and their main drawbacks were identified, taking into account the requirements of compactness and mobility of delivery to the place of search flights over forests and in mountainous areas, which was the main requirement in the competition for the best UAV concept projects of search and rescue drones in the Odyssey-2019 format under the funding of AFK Sistema and the mobile Helicopter rescue service in the Moscow region and other regions.

We used trends and results of joint scientific and technical cooperation with a Swiss company on the project of two-seat high-altitude electric aircraft SOLARSTRATOS with solar panels on the entire surface of the wing and horizontal tail, the priority of which is related to the development of high-performance solar systems for water, land and air ecological mobile electric transport. The estimation of profitability of disk-shaped ALA-UAVs for optimal aerodynamic and weight quality of design and manufacture in comparison with other forms of elliptical or cigar-shaped geometry is given. New innovative technologies include new composite materials, waste-free additive technologies for digital production and adaptive transform structures with helium or hydrogen filling for ALA-UAV use in remote regions and polar transport operations, which simplifies maintenance and reduces life cycle costs.

Направление развития электрических беспилотных летательных аппаратов

Савельев С.А., Арбузов И.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Своевременное и правильное прогнозирование направления развития авиационной техники в будущем позволяет разрабатывать и создавать эффективные конкурентоспособные летательные аппараты. Сегодня одно из перспективных направлений развития – электрические беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые позволяют гибко разрабатывать различные способы их применения для решения широкого круга задач, в отличие от пилотируемой авиационной техники.

Проведенный анализ показал, что около 26% всех существующих БПЛА оснащены электрической силовой установкой.

Взлетная масса существующих электрических БПЛА составляет не более десятков килограмм, а их продолжительность полета на аккумуляторных батареях – около одного часа. При этом с каждым годом наблюдается устойчивая тенденция роста этих показателей. В настоящее время многие страны ведут активные исследования по созданию электрических летательных аппаратов в двух проблемных направлениях: создание источников питания с высокой плотностью энергии и высокоэффективных электродвигателей.

В настоящее время активно исследуется концепция применения «Роя БПЛА», которая предусматривает в одновременном применении большого количества небольших беспилотных аппаратов, оснащенных искусственным интеллектом и действующих как единое целое, направленных на решение одной конкретной задачи.

Отсюда возникает потребность в создании небольших и недорогих БПЛА, что свойственно аппаратам с электрической силовой установкой.

Концепция «Роя БПЛА» предполагает легкую адаптацию под различные сценарии их применения, гибкую конфигурацию состава, а высокоорганизованный строй (порядок) их применения будет обеспечивать групповую эффективность достижения поставленной цели. В итоге, множество (рой) маленьких БПЛА могут эффективнее выполнить задачу, чем один более крупный летательный аппарат.

Direction of electric unmanned aerial vehicles development

Savelyev S.A., Arbutov I.V.

MAI, Moscow, Russia

Timely and correct forecasting of the development direction of aviation technology in the future allows us to design and create effective competitive aircraft. Today, one of the promising areas of development is electric unmanned aerial vehicles (UAVs), which allow flexible development of various ways to use them to solve a wide range of problems, unlike manned aircraft.

The analysis showed that about 26% of all existing UAVs are equipped with an electric propulsion system.

The take-off mass of existing electric UAVs is not more than tens of kilograms, and their flight duration on batteries is about one hour. Moreover, every year there is a steady growth trend of these indicators. Currently, many countries are conducting active research on the creation of electric aircraft in two problem areas: the creation of power sources with a high energy density and highly efficient electric motors.

Currently, the concept of using the “UAV Swarm” is being actively studied, which provides for the simultaneous use of a large number of small unmanned vehicles equipped with artificial intelligence and acting as a whole aimed at solving one specific problem.

Hence, the need arises for the creation of small and inexpensive UAVs, which is characteristic of devices with an electric propulsion system.

The concept of “UAV Swarm” implies easy adaptation to various scenarios of their application, a flexible configuration of the composition, and a highly organized system (order) of their application will ensure group efficiency in achieving the goal. As a result, many (swarm) of small UAVs can perform the task more efficiently than one larger aircraft.

Опыт применения беспилотных комплексов Luftera в добывающих отраслях промышленности

Самойловский А.А., Солошенко В.Н., Печенюк В.С., Митин Д.Е., Акимов А.А.
ООО «Люфтэра», г. Москва, Россия

Применение беспилотных воздушных судов (БВС) в добывающей промышленности позволяет существенно ускорить и упростить процесс получения геопро пространственных данных, что в свою очередь, напрямую влияет на производительность труда.

Кратное увеличение скорости достигается за счет беспрепятственного перемещения БВС над сложным рельефом подстилающей поверхности. Наряду с уменьшением трудоемкости процессов, выполняемых традиционным способом, БВС создает более безопасные условия труда. В то же время внедрение БВС в производственные процессы не приводит к исключению из них людей, а существенно повышает их квалификацию и способствует фундаментальной трансформации профессии: если раньше работы приходилось выполнять посредством ручных инструментальных замеров, то с БВС человек стал способен выполнять задачи в десятки раз быстрее не находясь непосредственно на объекте.

Внедренные БВС Luftera LQ-4 для создания цифровой копии карьеров показывают, что их применение позволяет получать цифровые модели поверхности в 6 раз быстрее, при этом детализация получаемых данных отличается большей достоверностью. Применение воздушного лазерного сканирования позволяет получать данные о рельефе особенно эффективно на залесенных участках, а также работать в условиях отсутствия освещения в ночное время суток или в регионах с малой продолжительностью светового дня. Внедрение в промышленную эксплуатацию аэромагнитной съемки с БВС позволяет ускорить этап сбора данных в несколько раз в зависимости от сложности исследуемой территории.

Важно понимать, что БВС является одной из составляющих комплексного решения для добывающих предприятий, которое включает в себя обучение персонала, подготовку нормативной документации, легитимизацию использования данных в контролирующих органах, а также анализ, хранение и доступ к полученным данным по принципу управления жизненным циклом строительного объекта (BLM). Перспективным направлением является разработка универсальных носителей и комбинированных сенсоров, предоставляющих исчерпывающую скомплексированную информацию о целевом объекте.

Luftera unmanned systems using experience in the mining industries

Samoylovskiy A.A., Soloshenko V.N., Pechenyuk V.S., Mitin D.E., Akimov A.A.
Luftera LLC, Moscow, Russia

Unmanned aircraft (UAVs) using in the mining industry can significantly speed up and simplify the process of obtaining geospatial data, which in turn directly affects labor productivity.

Multiple increases in speed are achieved due to the smooth movement of the UAV over the complex terrain of the underlying surface. Along with reducing the complexity of processes performed traditionally, UAV creates safer working conditions. At the same time, the introduction of UAVs in production processes does not lead to the exclusion of people from them, but significantly improves their skills and contributes to the fundamental transformation of the profession: if earlier work had to be performed using manual instrumental measurements, then with UAVs a person became able to perform tasks ten times faster without being directly on the object.

The implemented Luftera LQ-4 UAVs for creating a digital copy of quarries show that their use makes it possible to obtain digital surface models 6 times faster, while the detailed data obtained is more reliable. The use of aerial laser scanning makes it possible to obtain terrain data especially effectively in forested areas, as well as to work in conditions of lack of lighting at night or in regions with short daylight hours. The introduction of the aeromagnetic survey with UAVs into commercial operation allows speeding up the data collection stage several times, depending on the complexity of the territory under study.

It is important to understand that the UAV is one of the components of a comprehensive solution for mining companies, which includes training of personnel, preparation of regulatory documentation, the legitimization of data in regulatory authorities, as well as analysis, storage and

access to the obtained data based on the principle of building object lifecycle management (BLM). A promising direction is the development of universal carriers and combined sensors that provide comprehensive complex information about the target object.

Добровольная сертификация беспилотных авиационных систем и (или) их элементов, включающих беспилотные гражданские воздушные суда с максимальной взлетной массой 30 килограммов и менее

Сачков Л.С.

АО «Авиапром», г. Москва, Россия

Постановка проблемы:

В соответствии с ФЗ-60 «Воздушный кодекс», обязательная сертификация не распространяется на беспилотные авиационные системы и (или) их элементы, включающие беспилотные гражданские воздушные суда с максимальной взлетной массой менее 30 килограммов.

По оценке аналитиков потенциальный объем российского рынка БВС к 2025 г. может составить около 2,5 млн. устройств.

Более 90% БВС имеют максимальную взлетную массу до 30 кг.

Фактически оценка соответствия БАС заявленным критериям в данной категории проводится на усмотрение разработчиков БВС.

Большинство разработчиков БАС (БВС) не имеют Лицензий на право разработки, производства, испытания и ремонта авиационной техники (Постановление Правительства РФ от 28.03.2012 N 240), не имеют летно-испытательной базы, средств измерений, подготовленного и аттестованного персонала.

Существуют риски безопасности полетов в сегрегированном воздушном пространстве и, тем более, в несегрегированном воздушном пространстве.

Пути решения:

С целью снижения эксплуатационных и страховых рисков заказчиков, признания летной годности и допуска на рынок конкурентоспособных БАС, АО «Авиапром» создана и 26 августа 2020 г. зарегистрирована Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) система добровольной сертификации «АВИАПРОМ», (регистрационный № РОСС RU.32294.04АПР0).

Область деятельности Системы - добровольная сертификация:

беспилотных авиационных систем и (или) их элементов, включающих беспилотные гражданские воздушные суда с максимальной взлетной массой 30 килограммов и менее (далее по тексту – БАС (БВС)).

Система устанавливает:

- Организационную структуру Системы и функции участников Системы.
- Объекты сертификации в Системе.
- Принципы функционирования Системы.
- Правила проведения работ по добровольной сертификации.
- Порядок оплаты работ по добровольной сертификации.
- Правила рассмотрения апелляций.

Также устанавливает:

- требования к БАС (БВС);
- порядок применения знака соответствия Системы;
- порядок предоставления полномочий в качестве органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), проводящих работы в Системе.

Состав участников системы добровольной сертификации.

Организационную структуру Системы, обеспечивающую ее деятельность, образуют ее участники:

- Руководящий орган – организация, создавшее Систему (АО «Авиапром»).
- Совет Системы.
- Органы по сертификации.

- Испытательные лаборатории.
- Апелляционная комиссия.
- Заявители.

Voluntary certification of unmanned aircraft systems and (or) their elements, including unmanned civil aircraft with a maximum take-off weight of 30 kilograms or less

Sachkov L.S.

JSC "AVIATION INDUSTRY", Moscow, Russia

Problem statement:

1. In accordance with Federal law No. 60 "Air code", mandatory certification does not apply to unmanned aircraft systems and (or) their elements, including unmanned civil aircraft with a maximum take-off weight of less than 30 kilograms.

2. According to analysts, the potential volume of the Russian UAV market by 2025 may be about 2.5 million devices.

3. More than 90% of UAVs have a maximum take-off weight of up to 30 kg.

4. In Fact, the assessment of the UAS compliance with the declared criteria in this category is at the discretion of the UAS developers.

5. Most developers of UAS (UAS) do not have Licenses for the right to develop, manufacture, test and repair aircraft (Decree of the Government of the Russian Federation of 28.03.2012 N 240), do not have a flight test base, measuring instruments, trained and certified personnel.

6. There Are safety risks in segregated airspace, and especially in non-segregated airspace.

Way of solution:

1. To reduce operational and insurance risks, customers, recognition of airworthiness and access to the market of competitive BASS, JSC "Aviaprom" created and 26 August 2020 registered with the Federal Agency for technical regulation and Metrology (Rosstandart), the system of voluntary certification "aviation industry", (registration number ROSS RU.32294.04AИП0).

2. The area of activity of System of voluntary certification: unmanned aircraft systems and (or) their elements, including unmanned civil aircraft with a maximum take-off weight of 30 kilograms or less (hereinafter referred to as UAS).

The system sets:

- The organizational structure of the System and the functions of the System participants.
- Certification objects in the System.
- Operating principles of the System.
- Rules for conducting work on voluntary certification.
- Payment procedure for voluntary certification works.
- Rules for consideration of appeals.

Also establishes:

- Requirements for UAS (UAS).
- Procedure for applying the system's compliance mark.
- The procedure for granting authority as certification bodies and testing laboratories (centers) that conduct work in the System.

3. Membership of the voluntary certification system

The Organizational structure of the System that ensures its operation is formed by its participants:

- The governing body – the organization that created the System (JSC " Aviaprom»).
- System Advice.
- Certification body.
- Testing laboratory.
- Appeal commission.
- Applicants.

Гибридный БЛА с аэростатической разгрузкой

Свинин С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Гибридный ЛА с аэростатической разгрузкой занимает место между летательными аппаратами с аэростатической (аэростаты) и динамической (самолеты) подъемной силой. В отличие от классического дирижабля они имеют перегрузку не 5..10%, а 25..40% массы.

Используя опыт проектирования, изготовления и эксплуатации гибридных аэростатов Колибри, участия в проектировании, изготовлении, испытаниях и сопровождение в эксплуатации дирижаблей, научный задел по проекту Самолета с аэродинамически несущим корпусом был создан демонстратор беспилотного перспективного гибридного аэростатического летательного аппарата. В ходе проведения исследовательских испытаний были подтверждены расчетные характеристики: минимальная скорость горизонтального полета 18 км/ч, Максимальная скороподъемность 8.7...9 м/с при скорости набора 30 км/ч, угол наклона траектории при наборе высоты 28...31гр., максимальная скорость потери высоты при планировании 3...3.2 м/с при скорости 20...25 км/ч, угол наклона траектории при планировании 23...25 гр. При газовом объеме 15м³ максимальная взлетная масса составила 22 кг при полезной нагрузке 5 кг.

Основные преимущества гибридного БЛА по сравнению с самолетной, вертолетной техникой – это возможность выполнять длительные, в том числе барражирующие полеты в диапазоне малых скоростей, менее затратная энергетически функция выведения на рабочую высоту полезной нагрузки, что позволяет выполнять с помощью этих аппаратов такие специфические задачи, как бортовые гравиметрические измерения, подъем оборудования для телекоммуникационных нужд, точную аэрофотосъемку.

По сравнению с классическими дирижаблями гибридный аппарат не требует затрат на строительство и содержание наземной инфраструктуры (Классические используют сложные системы взлёта и причаливания, требуют загрузки балластом на стоянке), имеют существенно большую полезную нагрузку при одинаковом объеме подъемного газа, широкий диапазон загрузки, позволяет выполнять полет без полезной нагрузки и замещающего ее балласта, а также высокую маневренность и меньшую метеозависимость.

Hybrid UAV with aerostatic unloading

Svinin S.V.

MAI, Moscow, Russia

Hybrid AIRCRAFT with aerostatic unloading occupies a place between aircraft with aerostatic (balloons) and dynamic (planes) lift. In contrast to the classic airship, they have a superheaviness of not 5..10%, but 25..40% of the mass.

Using the experience of designing, manufacturing and operating hybrid balloons and airships, a demonstrator of an unmanned promising hybrid aerostatic aircraft was created. During the research trials were confirmed by the estimated characteristics: the minimum speed of horizontal flight at 18 km/h Maximum rate of climb 8.7...9 m/s with the speed set at 30 km/h, the flight-path angle during climb 28...31gr., the maximum rate of height loss when planning 3...3.2 m/s at a speed of 20...25 km/h, the inclination angle of the trajectory when planning 23...and 25 grams. With a gas volume of 15m³, the maximum take-off weight was 22kg with a payload of 5 kg.

The main advantages of hybrid BLAH compared with airplane, helicopter equipment is the ability to perform long, including patrolling flights in the range of low speeds, less expensive energy function of removal on the working height of the payload that allows you to perform using these devices such specific tasks as airborne gravimetric measurement, lifting equipment for telecommunications needs, accurate aerial photography.

Compared with classic airships, hybrid vehicles do not require the cost of building and maintaining ground infrastructure (Classic ones use complex take-off and mooring systems, require loading with ballast in the Parking lot), have a significantly larger payload with the same amount of lifting gas, a wide loading range, allows you to fly without a payload and replacing it with ballast, as well as high maneuverability and less weather dependence.

Некоторые процедурные вопросы проведения летных испытаний БАС

Серебряков А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В целях проведения сертификационных летных испытаний беспилотные воздушные суда (БВС) можно классифицировать в зависимости максимального взлетного веса: до 30 кг, от 30 до 495 кг, свыше 495 кг.

Нормативные документы не требуют обязательной сертификации БВС массой до 30 кг. Такие аппараты составляют 85-90% от всех производимых. Пользователи хотят иметь независимое подтверждение соответствия БВС техническим условиям. Его можно получить в органах добровольной сертификации. Например, в системе добровольной сертификации (СДС) «Авиапром».

В соответствии со статьей 36 Воздушного кодекса РФ БВС массой более 30 кг допускаются к эксплуатации при наличии Сертификата летной годности.

Воздушные суда до 495 кг являются сверхлегкими. Федеральные авиационные правила (ФАП) 4855 определяют, что полеты сверхлегких летательных аппаратов (СЛА) в целях испытаний проводятся в соответствии с руководствами по проведению летно-технической экспертизы единичных экземпляров воздушных судов. Таким образом, можно было бы проводить испытания в соответствии с ФАП 118 Положение о порядке допуска к эксплуатации единичных экземпляров воздушных судов авиации общего назначения. Однако, ФАП 118 относится к пилотируемым воздушным судам, в нем отсутствуют требования к наземным станциям управления и каналам связи БАС. Сертификация БВС как ЕЭВС проводится в настоящее время по отдельным решениям Росавиации.

В настоящее время отсутствуют нормы летной годности БВС. АП-21 говорят, что в случае отсутствия норм летной годности на разработанный аппарат, заявитель обязан разработать критерии нормы летной годности аппарата. Специальные технические условия для проведения сертификационных работ рекомендовано разрабатывать на основе нормативных документов JARUS.

Из приведенного выше следует, что необходимо срочно внести дополнения в ФАП 118 в части требования к БАС и утвердить нормы летной годности.

Скорейшее устранение законодательных пробелов в части регулирования БАС окажет поддержку развитию данной отрасли экономики в Российской Федерации.

SOME PROCEDURAL ISSUES IN PERFORMING UAV FLIGHT TESTS

Serebryakov A.S.

MAI, Moscow, Russia

For the purposes of certification flight tests, unmanned aerial vehicles (UAVs) can be classified according to their maximum take-off weight: up to 30 kg, from 30 to 495 kg, over 495 kg.

Regulatory documents do not require mandatory certification of UAV weighing up to 30 kg. Such devices make up 85-90% of all manufactured devices. Users want to have independent confirmation that the UAV meets the specifications. It can be obtained from voluntary certification bodies. For example, in the Aviaprom voluntary certification system.

In accordance with article 36 of the Air Code of the Russian Federation, UAVs weighing more than 30 kg are allowed for operation with a Certificate of Airworthiness.

Aircraft up to 495 kg are ultralight. Federal Aviation Regulations (FAR) 4855 determine that flights of ultralight aircraft (ULA) for testing purposes are conducted in accordance with the guidelines for conducting flight technical examination of single aircraft. Thus, it would be possible to carry out tests in accordance with FAP 118 Regulations on the procedure for admitting single copies of general aviation aircraft to operation. However, FAR 118 refers to manned aircraft, there are no requirements for ground control stations and UAS communication channels. UAVs certification as single copies of general aviation aircraft is currently being carried out under separate decisions of the Federal Air Transport Agency.

Currently, there are no airworthiness standards for UAVs. AP-21 say that in the absence of airworthiness standards for the developed device, the applicant must develop criteria for the

airworthiness standards of the device. It is recommended to develop special technical conditions for carrying out certification works based on JARUS normative documents.

From the above it follows that it is urgent to make additions to FAP 118 in terms of the requirements for UAS and to approve airworthiness standards.

The speedy elimination of legislative gaps in terms of UAS regulation will support the development of this sector of the economy in the Russian Federation.

Функциональное моделирование отказов

Симдиков А.Ю.

ГК «Ростех», г. Москва, Россия

В 1947 г. возникла дисциплина, которая была призвана обеспечить безопасность, классифицировать и унифицировать отказы. Так родилась АВПКО (Анализ видов и последствия критичности Отказов) MIL-STD-1629A FMEA. Амбарные книги разнобивались и заполнялись лучшими экспертами. В то время количество компонентов не превышало тысячи. Что делать теперь, когда 350 и 450 тысяч компонентов это реалии, сложность систем и подсистем возросла многократно. Появились новые отрасли, новые понятия, новые требования. Скорости стали выше как самолетов, так и времени.

Завтра будет только сложнее, справимся ли мы, заполняя "амбарные" книги? разберемся ли в огромных чертежах Деревьев отказов? не допустим ли ошибки в сложнейшем сплетении систем, когда у нас болит зуб или голова? Вопросов больше, чем ответов. Но если их не задавать, то ничего не будет.

А что если создать модель самолёта, компоненты которого знали бы кто они? Чтобы знали какими "болезнями" они могут болеть и какие последствия этих болезней повлияют на весь самолет или его критичные узлы, от которых зависит жизнь людей?

С беспилотниками дело обстоит ещё круче. Необходимо заменить всего Хомо Сапиенс в роли пилота, со всеми его чувствами и принятием решений. Значит, необходимо найти все возможные отказы и создать такой алгоритм, который бы позволил бы мгновенно, как система ABS в автомобиле, реагировали бы быстрее человека.

В своем докладе, я постараюсь рассказать Вам нечто новое, что может вам пригодиться в профессиональной жизни, облегчит её, сохранит вам нервы, здоровье, отпуск и здоровый сон.

Ведь не так важно сколько у тебя преград впереди. Если ты знаешь их, ты сможешь разработать план по их преодолению. Незнание – самое страшное (ИМХО)

Безопасность БАС. Современные технологии ПО MADe позволяют автоматизировать расчеты КП БНКТ БАС в соответствии с ГОСТ Р 56079/80/81-2014 и с международными стандартами ARP 4761A и ARP4754B в рамках методологии MBSA, Model Based Safety Assessment. На единой функциональной модели изделия КП БНКТ реализуют инженеры: по разработке, по надежности, по контролепригодности, по техническому обслуживанию.

Modeling functional failures

Simdikov A.Y.

Rostec, Moscow, Russia

In 1947, a discipline arose that was designed to ensure safety, classify and unify failures. So MIL-STD- 1629A FMEA was born. Barn books were distinguished and filled by the best experts. At that time, the number of components did not exceed a thousand. What to do now when 350 and 450 thousand components are realities, the complexity of systems and subsystems has increased many folds. There are new industries, new concepts, new requirements. Time has become faster as well as aircraft speed and our lives.

Tomorrow will be lot harder, are we gonna cope with filling out "barn" books? will we comprehend the huge Fault Trees drawings? Can we not make mistakes in the most complex plexus of systems in case of tooth ache or head ache? questions more than answers. But if they are not raised, then nothing will happen.

What if we created a model of an airplane whose components would know who they are? So that they will know what "diseases" they can pose and what consequences of these diseases may affect the entire plane or its critical components on which people's lives depend?

Drones are even cooler. It is necessary to replace entire Homo Sapiens as a pilot, with all his feelings and decision-making ability. So, it is necessary to find all possible failures and create an algorithm that would allow instantly, like the ABS system in a car, to react faster than a human.

In my report, I will try to demo to you something new that can be useful to you in your professional life, make it easier, save your nerves, health, vacation and healthy sleep.

It doesn't matter how many obstacles ahead of you. If you know them, you can come up with a plan to overcome them. Unknown is the worst (ИМО)

UAV safety. Modern technologies such as MADe allow us calculate automatically FMECA as well as well as FTA (Fault Tree Analysis) according to Standards 56079/80/81-2014 together with international ARP 4761A and ARP4754B within MBSA methodology (Model Based Safety Assessment). Based on common functional model of a product engineers do require: development, reliability, controllability and maintenance.

Беспилотные средства гидрометеорологических наблюдений

¹Ситников Н.М., ³Николаев А.В., ¹Горелик А.Г., ²Чекулаев И.И.

¹ФГБУ «ЦАО», ²ООО «АТ-ЛИРТ», г. Долгопрудный, Россия

³МТУСИ, г. Москва, Россия

Представлены результаты работ по разработке методов и средств гидрометеорологических наблюдений на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), выполненных авторами в рамках различных проектов. Обсуждаются вопросы использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для проведения гидрометеорологических наблюдений. Рассмотрены перспективы и преимущества использования БПЛА для решения различных задач, таких как метеорологическое обеспечение полетов авиационной и космической техники, измерение пространственных распределений параметров атмосферы и ее газового и аэрозольного состава, мониторинг окружающей среды и других. Представлены образцы бортовой аппаратуры для измерения метеорологических параметров атмосферы и некоторых составляющих газового и аэрозольного состава, результаты лабораторных и полевых испытаний, а также результаты измерений пространственных распределений параметров атмосферы и концентрации газовых примесей с борта БПЛА. Отмечено, что на базе БПЛА различных типов могут быть созданы как специализированные средства, направленные на решение одной задачи, так и многоцелевые, имеющие сменные бортовые аппаратно-программные комплексы, которые устанавливаются на борт БПЛА в зависимости от решаемой задачи. Определен круг задач, которые могут быть решены с использованием БПЛА. К таким задачам относятся определение термодинамического состояния пограничного слоя атмосферы, мониторинг загрязнений в районах чрезвычайных ситуаций, обнаружение опасных погодных явлений и многие другие. Отмечено, что с использованием БПЛА можно значительно расширить круг атмосферных исследований. Средства на базе БПЛА способны производить измерения, ранее доступные только самолетам-лабораториям, тогда как стоимость БПЛА, также, как и стоимость их эксплуатации на несколько порядков ниже стоимости самолетов-лабораторий.

UAV based facilities of hidrometeorological observations

¹Sitnikov N.M., ³Nikolaev A.V., ¹Gorelik A.G., ²Chekulaev I.I.

¹FSBI "CAO", ²AT-LIRT Ltd., Dolgoprudny, Russia

³MTUCI, Moscow, Russia

The results of the work on the development of methods and tools for hydrometeorological observations based on unmanned aerial vehicles (UAVs), performed by the authors in various projects, are presented. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for hydrometeorological observations is discussed. The prospects and advantages of using UAVs for solving various tasks, such as meteorological support for flights of aviation and space technology, measurement of spatial distributions of atmospheric parameters and its gas and aerosol composition, environmental

monitoring, and others are considered. Samples of onboard equipment for measuring meteorological parameters of the atmosphere and some components of the gas and aerosol composition, results of laboratory and field tests, as well as results of measurements of spatial distributions of atmospheric parameters and concentrations of gas impurities from the UAV are presented. It is noted that on the basis of various types of UAVs, both specialized tools aimed at solving a single task can be created, and multi-purpose ones with replaceable on-Board hardware and software complexes that are installed on Board the UAV depending on the task being solved. The range of tasks that can be solved using UAVs is defined. These tasks include determining the thermodynamic state of the atmospheric boundary layer, monitoring pollution in emergency areas, detecting dangerous weather events, and many others. It is noted that using UAVs can significantly expand the range of atmospheric research. UAV-based facilities are capable of making measurements previously available only to laboratory aircraft, while the cost of UAVs, as well as the cost of their operation, is several orders of magnitude lower than the cost of laboratory aircraft.

К вопросу о повышении устойчивости и управляемости самолетов нетрадиционных схем при движении по земле

Смагин А.А., Долгов О.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Специфика современного использования боевой авиации диктует необходимость удовлетворения ЛА специфическим и противоречивым требованиям, в частности, касающихся малой заметности и высоких аэродинамических характеристик. Этот факт обуславливает появление ЛА нестандартных схем, таких как летающее крыло. Внешний облик и компоновка этих самолетов нацелены, в первую очередь, на максимально эффективное решение боевых задач, побочным эффектом чего является отступление от классических общепринятых геометрических параметров взлетно-посадочных устройств. Одной из ключевых особенностей геометрии шасси летающего крыла с умеренными углами стреловидности является нестандартное соотношение базы и колеи, что вкупе с некоторыми компоновочными особенностями существенно ухудшает характеристики устойчивости и управляемости при движении по земле.

В работе предложен подход к решению проблем устойчивости и управляемости самолетов аэродинамической схемы «летающее крыло» с точки зрения движения по земле, заключающийся в объединении систем шасси в автоматизированный интегральный контур управления. Проведен анализ особенностей движения по земле, указаны недостатки и границы применения имеющихся способов управления. Описано построение динамической модели самолета для проведения виртуальных испытаний алгоритмов управления.

Сделан вывод о практических преимуществах, которые ожидается получить в результате внедрения интегрального контура управления системами шасси.

Ключевые слова: шасси, устойчивость и управляемость, летающее крыло, автоматизация, интегральный контур управления

On the issue of increasing the stability and controllability of aircraft of non-traditional schemes when moving on the ground

Smagin A.A., Dolgov O.S.

MAI, Moscow, Russia

The specifics of the modern use of combat aviation dictate the need to meet aircraft specific and contradictory requirements, in particular, concerning low visibility and high aerodynamic characteristics. This fact leads to the emergence of aircrafts of non-standard aerodynamic circuits, such as the flying wing. The appearance and layout of these aircraft are aimed, first, at the most effective solution of combat tasks, a side effect of which is a deviation from the classic conventional geometric parameters of the landing gear.

The research proposes an approach to solving the problems of stability and controllability of aircraft of the aerodynamic scheme "flying wing" in terms of movement on the ground, which consists in combining landing gear systems into an automatic integrated control contour. The analysis of peculiarities of movement on the ground is carried out, disadvantages and limits of

application of available control methods are specified. Development of a dynamic aircraft model for virtual testing of control algorithms is described.

The conclusion is made about practical advantages that are expected to be obtained as a result of the introduction of the integrated control contour of landing gear systems. One of the key features of the chassis geometry of a flying wing with moderate angles of sweep is the non-standard base ratio b and ruts B : in this case, the base exceeds the track or is almost equal to it. The lack of a long fuselage and, even more significantly, the small shoulder of the controls on the pitch, which can lead to a lack of their control moment to create a runway attack angle, eliminates the possibility of layout of the main landing gear at a great distance from the center of the masses of such CG.

Система автоматизированного проектирования мультироторных летательных аппаратов с электрической силовой установкой UAV Calc

Соснов О.Р., Маслов С.А., Куприянов С.А., Гладких А.О., Тавицкий В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Беспилотные летательные аппараты типа мультикоптер – одна из самых распространённых единиц воздушной беспилотной техники в малой авиации. Широкий круг выполняемых ими задач и относительная простота процесса постройки этих аппаратов надёжно зарекомендовали себя среди инженеров. В связи с отсутствием в свободном доступе систем автоматизации процесса проектирования мультироторных ЛА в СКБ 602 была создана САПР, позволяющая:

- С высокой точностью проектировать БПЛА под заданную полезную нагрузку, стартовую массу, время и дальность полета, стоимость комплектующих.

- Анализировать рациональность конфигурации.

- Рассчитывать летно-технические характеристики БПЛА по заданным характеристикам.

Система автоматизированного проектирования состоит из:

- Баз данных характеристик таких агрегатов БПЛА, как воздушный винт, бесколлекторный двигатель, регуляторы хода, аккумуляторная батарея, элементы силовой конструкции, целевая нагрузка и т.д.

- Высокоточных уникальных алгоритмов проектирования.

- Интерфейса пользователя.

Для сбора механических характеристик агрегатов используется специальный испытательный винтовой прибор, позволяющий измерять:

- Тягу винтомоторной группы в диапазоне от 10 грамм до 25 килограмм.

- Напряжение аккумуляторной батареи до 100 вольт.

- Силу тока в цепи до 200 ампер.

- Число оборотов воздушного винта.

- Температуру агрегатов БПЛА на всех этапах испытания.

В данный момент ведется работа по созданию Web – версии приложения, модернизации алгоритмов, расширению баз данных.

CAD system for multicopters with an electric propulsion system UAV Calc

Sosnov O.R., Maslov S.A., Kupriyanov S.A., Gladkikh A.O., Tavitskiy V.A.

MAI, Moscow, Russia

Unmanned aerial vehicles of the multicopter type are one of the most common units of aerial unmanned vehicles in small aircraft. The wide range of tasks they perform and the relative simplicity of the process of building these devices have reliably established themselves among engineers. Due to the lack of free access to automation systems for the design of multi-rotor aircraft in SDD 602, the CAD system was created that allows:

- To design UAVs with high precision for a given payload, launch weight, flight time and range, cost of components.

- Analyze the rationality of the configuration.

- Calculate the flight performance of the UAV according to the specified characteristics.

The computer-aided design system consists of:

- Database of characteristics of such UAV units as propeller, brushless motor, speed controllers, battery, power structure elements, target load, etc.
- High-precision unique design algorithms.
- User interface.

To collect the mechanical characteristics of the units, a special test screw device is used to measure:

- The thrust of the propeller group in the range from 10 grams to 25 kilograms
- Voltage of the storage battery up to 100 volts.
- Circuit current up to 200 amperes.
- The number of turns of the propeller.
- The temperature of the UAV units at all stages of the test.

At the moment, work is underway to create a web-version of the application, modernize algorithms, expand databases.

Пожаротушение высотных зданий с использованием дистанционно управляемого гексакоптера

Стоцкий Е.А.

АО «НЦВ Миль и Камов», п. Томилино, Россия

В настоящее время все больше строится высотных зданий и возникает вопрос пожарной безопасности. Современные средства спец. служб не могут обеспечить тушение на высоте выше 90 м. Для решения этой проблемы предлагается использовать гексакоптер с установленной гранатометной установкой который будет подниматься на необходимую высоту отстреливать модифицированной гранатой, пробивая отверстие в стекле производит тушение пожара.

Для оценки пробития триплексного стекла гранатой, выпущенной из РПГ, был проведён расчёт высокоскоростного взаимодействия твёрдых тел. Из которого получены зависимости толщины сквозного пробития от скорости взаимодействия для различных материалов, зависимость диаметра отверстия от толщины пакета триплексного стекла, зависимость заградной скорости ударника от толщины стекла при различных скоростях взаимодействия.

Для выбора схемы используется формула Вельнера где, изменяя диаметр и механическую мощность можно получить поднимаемую массу. При оценочной массе аппарата 140 кг вычислена оптимальная схема с 6 винтомоторными группами.

Произведён подбор винта гексакоптера с заданных характеристиках двигателя. Тяга равна весу аппарата, коэффициент подменной силы принят равным 0,85 от C_u максимум. Выбор винта производился из условия наименьшего использования силы тока что позволит провести в воздухе наибольшее время при одинаковом аккумуляторе.

Были записаны уравнения $\Sigma \text{сил}=0$ относительно оси x и y , а также $\Sigma \text{моментов}=0$. В результате мы получили требуемые тяги на передних задних и средних двигателях, а также требуемые углы атаки гексакоптера для осуществления его балансировки.

Получена требуемая тяга по горизонтальной скорости полета, зависимость подаваемых напряжений по скорости полета, и потребных мощностей, и силы тока. По потребной силе тока мы можем рассчитать время, которое сможем провести в воздухе. Максимальная скорость полета ограничена напряжением, которое можно подавать на электродвигатель

Построена указательница скоростей показывающая зависимость вертикальной скорости от горизонтальной скорости полета на разных высотах. Получена максимальная горизонтальная скорость для загруженного гексакоптера около 156 км/ч и максимальная вертикальные скорость 17 м/с.

Построена зависимость тангажа по горизонтальной скорости, определен предельный диапазон центровок, график скороподъёмности аппарата на различных высотах. От куда была построена барограмма взлета, из которой можно определить на какую высоту за какое время подниматься гексакоптер.

Firefighting of high-rise buildings using a remote-controlled hexacopter

Stotsky E.A.

National Helicopter Center Mil&Kamov, Tomilino, Russia

To extinguish high-rise buildings, it is proposed to use a hexacopter with an installed grenade launcher, which will rise to the required height and shoot with a modified grenade, punching a hole in the glass, extinguishing the fire.

To assess the penetration of triplex glass by a grenade fired from an RPG, a high-speed interaction of solids was calculated. From which the dependences of the through-penetration thickness on the interaction rate for various materials, the dependence of the hole diameter on the thickness of the laminated glass stack, and the dependence of the striker's behind-the-bar velocity on the glass thickness at different interaction speeds were obtained

To select the scheme, the Welner formula is used where, by changing the diameter and mechanical power, the lifted mass can be obtained. With an estimated mass of the apparatus of 140kg, the optimal scheme with 6 propeller groups was calculated

The selection of the propeller of the hexacopter with the given engine characteristics has been made. The thrust is equal to the weight of the apparatus, the coefficient of force change is taken equal to 0.85 of the maximum of C_y . The choice of the propeller was made from the condition of the least use of the current strength, which will allow you to spend the longest time in the air with the same battery

The equations $\Sigma \text{ forces}=0$ relative to the x and y axes, as well as $\Sigma \text{ moments}=0$ were written. As a result, we got the required thrust on the front rear and middle engines, as well as the required angles of attack for the hexacoptera to balance it

The required thrust for the horizontal flight speed, the dependence of the supplied voltages on the flight speed, and the required powers and current strength were obtained. Based on the required current strength, we can calculate the time that we can spend in the air. Maximum flight speed is limited by the voltage that can be applied to the electric motor

A speed indicator was built showing the dependence of the vertical speed on the horizontal flight speed at different heights. The maximum horizontal speed for the loaded hexacopter is about 156km/h and the maximum vertical speed is 17m/s

The dependence of the pitch on the horizontal speed is built, the limiting range of alignments, the graph of the rate of climb of the vehicle at different heights are determined. From where the take-off barogram was built, from which it is possible to determine to what height for what time the hexacopter should rise

Комплексе «Диагност-М» на базе БПЛА мультироторного типа

Сурков Д.А., Егоров А.А., Курис Э.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Приведены основные положения по комплексу «Диагност-М», предназначенного для контроля уровня излучения оборудования сотовой связи.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, плотность потока энергии электромагнитного поля, антенно-мачтовое сооружение.

Комплекс «Диагност-М» представляет собой беспилотный летательный аппарат (БПЛА) мультироторного типа с шестью моторами (гексакоптер), оснащенный: системой сверхточной ориентации для определения местоположения во время полета; измерителем плотности потока энергии электромагнитного поля и фотокамерой на гиросtabilизированном подвесе с возможностью 30 кратного оптического увеличения. Комплекс предназначен для обследования антенно-мачтовых сооружений (АМС) с излучающим оборудованием сотовой связи, а также для измерения уровня плотности потока энергии электромагнитного поля (ППЭ ЭП) в зоне действия соответствующих антенн АМС.

Отличительной особенностью комплекса является возможность измерять ППЭ ЭП на высоте установки антенны, а также обследовать состояние оборудования, установленного на АМС благодаря 30-кратному оптическому увеличению фотокамеры. Также особенностью комплекса является наличие специализированного микропроцессора на борту БПЛА, с

помощью которого возможна реализация различных алгоритмов автоматического управления БПЛА и контроля соответствующих параметров.

Работоспособность комплекса «Диагност-М» была подтверждена в ходе летных испытаний.

Complex "Diagnost-M" based on a multi-rotor UAV

Surkov D.A., Egorov A.A., Kuris E.D.

MAI, Moscow, Russia

The main provisions on the "Diagnost-M" complex intended for monitoring the radiation level of cellular communication equipment are given.

Key words: unmanned aerial vehicle, electromagnetic field energy flux density, antenna-mast structure.

Complex "Diagnost-M" is a multi-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) with six motors (hexacopter), equipped with: an ultra-precise orientation system for determining the location during the flight; a meter of the energy flux density of the electromagnetic field and a camera on a gyro-stabilized suspension with the possibility of 30 times optical magnification. The complex is intended for inspection of antenna-mast structures (AMS) with radiating equipment of cellular communication, as well as for measuring the level of the energy flux density of the electromagnetic field (EFD of the EMF) in the coverage area of the corresponding AMS antennas.

A distinctive feature of the complex is the ability to measure the EFD of the EMF at the height of the antenna installation, as well as to inspect the condition of the equipment installed on the AMS due to the 30x optical zoom of the camera. Also, a feature of the complex is the specialized microprocessor on board the UAV, with the help of which it is possible to implement various algorithms for automatic control of the UAV and control of the corresponding parameters.

The performance of the "Diagnost-M" complex was confirmed during flight tests.

Беспилотные авиационные системы и олимпиада НТИ

Сурков Д.А., Ушаков А.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Приведены основные положения по треку «Беспилотные авиационные системы» олимпиады НТИ, организатором которой уже несколько лет подряд является МАИ.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, олимпиада НТИ, симулятор полета

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) уже несколько лет подряд является организатором трека «Беспилотные авиационные системы» всероссийской олимпиады школьников – Олимпиады Кружкового движения Национальной технологической инициативы (НТИ).

Олимпиада НТИ включает в себя более 30 направлений (треков) и проходит в несколько этапов. Первые два этапа проводятся в удаленном формате, сначала решаются предметные задачи по выбранному направлению, а затем участники переходят к решению задач по ролям и к командным задачам. Финал проходит в очном формате на площадке организатора, в ходе которого ребята несколько дней решают основную задачу, нацеленную на практику будущего. В ходе финала ребята работают с малогабаритным беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) самолетного типа, разрабатывают систему автоматического управления, проводят моделирование полета и отработку собственных алгоритмов управления на специализированном симуляторе полета БПЛА самолетного типа. Также участники финала работают с различными датчиками и органами управления БПЛА самолетного типа. Для проверки собственных решений и созданных алгоритмов управления, а также для проверки правильности решения основной задачи, участники олимпиады НТИ выезжают на несколько дней на учебно-авиационную базу МАИ, где проводятся летные испытания БПЛА самолетного типа и проверяется решение каждой из участвующих команд.

Олимпиада НТИ помогает выявить талантливых ребят, а также помогает им набрать дополнительные баллы к ЕГЭ и дает возможность победителям и призерам поступать без вступительных испытаний в любой вуз страны.

Unmanned aircraft systems and the NTI Contest

Surkov D.A., Ushakov A.N.

MAI, Moscow, Russia

The main provisions on the discipline "Unmanned aircraft systems" of the NTI Contest, which has been organized by MAI for several years in a row, are given.

Keywords: unmanned aerial vehicle, NTI Contest, flight simulator

For several years in a row, the Moscow Aviation Institute (National Research University) has been the organizer of the discipline "Unmanned Aviation Systems" of the All-Russian Olympiad for schoolchildren - the Olympiad of the Kruzhok Association of the National Technological Initiative (NTI Contest).

The NTI Contest includes more than 30 disciplines and takes place in several stages. The first two stages are carried out in a remote format, first, subject tasks are solved in the chosen discipline, and then the schoolchildren move on to solving tasks by role and to team tasks. The final is held in full-time format at the organizer's site, during which the schoolchildren solve the main problem for several days, aimed at the practice of the future. During the finals, the participants work with a small-sized unmanned aerial vehicle (UAV) of an aircraft type, develop an automatic control system, conduct flight simulation and test their own control algorithms on a specialized aircraft-type UAV flight simulator. Also, in the finals the participants work with various sensors and controls for an aircraft-type UAV. To check their own solutions and created control algorithms, as well as to check the correctness of the solution to the main problem, the participants of the NTI Contest go for several days to the MAI training and aviation base, where flight tests of an aircraft-type UAV are carried out and the solution of each of the participating teams is checked.

The NTI Contest helps to identify talented children, as well as helps them to gain additional points for the Unified State Exam and gives the winners and prize-winners the opportunity to enter any university in the country without entrance tests.

Применение беспилотных воздушных судов для проведения лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки системой АГМ-МСЗ для целей выполнения инженерно-геодезических изысканий и комплексных кадастровых работ

¹Тарарин А.М., ²Брусило В.А., ³Хизриев Х.Г.

¹МИИГАиК, г. Москва, Россия

²ООО «АГМ Системы», г. Краснодар, Россия

³ООО «ДагестанКадастрСъемка», г. Дагестан, Россия

Технологии воздушного лазерного сканирования зарекомендовала себя как эффективный инструмент для производства инженерно-геодезических изысканий протяженных линейных объектов и труднодоступных территорий.

Развитие систем воздушного лазерного сканирования и в первую очередь уменьшение их размеров и веса дало возможность их использования с беспилотных воздушных судов, что значительно расширяет сферу их применения, в том числе для выполнения инженерно-геодезических изысканий на площадных объектах и комплексных кадастровых работ.

В данной работе рассматривается опыт применения беспилотных воздушных судов Геоскан 401, DJI Matrix 600 Pro, Luftera LQ5, Supercam S350, Птеро, ИДС5 для целей проведения лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки системой АГМ-МСЗ производства ООО «АГМ Системы». Вес лазерного сканера АГМ-МСЗ составляет от 1,25 кг (в зависимости от модели используемого лазера), при этом он обеспечивает частоту сканирования до 600 кГц и точность определения координат 3-5 см.

1 сентября 2020 года технологии АГМ были продемонстрированы премьер-министру РФ М.В. Мишустину, который дал поручение Росреестру проработать вопросы внедрения технологий лазерного сканирования для целей кадастра. В настоящее время ООО «ДагестанКадастрСъемка» проводится эксперимент по применению беспилотных воздушных судов для проведения лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки системой АГМ-МСЗ для целей выполнения комплексных кадастровых работ в республике Дагестан. Эффективность применения фотограмметрического метода для выполнения

комплексных кадастровых работ уже нашла свое подтверждение [1, 2]. В ходе проведения эксперимента для определения координат объектов недвижимости используется облако точек, что увеличивает скорость камеральных работ и обеспечивает требуемую точность производства работ – 10 см с существенным запасом.

Литература:

1. Алябьев А.А., Зуев Н.А., Кобзева Е.А. Технологические особенности фотограмметрического метода в комплексных кадастровых работах // Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам научно-технической конференции. 2018. № 9. С. 181-183.

2. Тарарин А.М. Актуальные вопросы определения координат характерных точек границ земельных участков фотограмметрическим методом // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. № 2. С. 217-225.

Application of unmanned aircraft for laser scanning and digital aerial photography by the AGM-MS3 system for the purpose of performing engineering and geodetic surveys and complex cadastral works

¹Tararin A.M., ²Brusilo V.A., ³Hizriev K.G.

¹MIIGAiK, Moscow, Russia

²AGM Systems, Krasnodar, Russia

³DagestanCadastralSurvey, Dagestan, Russia

Air laser scanning technologies have proven to be an effective tool for engineering and geodetic surveys of long linear objects and hard-to-reach territories.

The development of air laser scanning systems and, first of all, the reduction of their size and weight made it possible to use them from unmanned aircraft, which significantly expands the scope of their application, including for performing engineering and geodetic surveys on area objects and complex cadastral works.

This paper discusses the experience of using unmanned aircraft GEOSCAN 401, DJI Matrix 600 Pro, Luftera LQ5, Supercam S350, Ptero, IDS5 for laser scanning and digital aerial photography by the AGM-MS3 system produced by AGM Systems LLC. The weight of the AGM-MS3 laser scanner is from 1.25 kg (depending on the model of the laser used), while it provides a scanning frequency of up to 600 kHz and an accuracy of determining coordinates of 3-5 cm.

On September 1, 2020, AGM technologies were demonstrated to the Prime Minister of the Russian Federation Mikhail Mishustin, who instructed Rosreestr to work out the implementation of laser scanning technologies for cadastre purposes. Currently, Dagestankadastrsemka LLC is conducting an experiment on the use of unmanned aircraft for laser scanning and digital aerial photography by the AGM-MS3 system for the purpose of performing complex cadastral works in the Republic of Dagestan. The effectiveness of using the photogrammetric method for performing complex cadastral works has already been confirmed [1, 2]. during the experiment, a point cloud is used to determine the coordinates of real estate objects, which increases the speed of Desk work and provides the required accuracy of work - 10 cm with a significant margin.

References:

1. Alyabyev A. A., Zuev N. A., Kobzeva E. A. technological features of the photogrammetric method in complex cadastral works // Appendix to the journal Izvestiya vuzov. Geodesy and aerial photography. Collection of articles on the results of the scientific and technical conference. 2018. no. 9. P. 181-183.

2. Tararin A.M. topical issues of determining the coordinates of characteristic points of land boundaries by photogrammetric method // News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography. 2019. No. 2. P. 217-225.

Математическое моделирование беспилотного летательного аппарата с малоразмерной гибридной силовой установкой

Тезиков С.Е., Боровиков Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Авиационные газотурбинные двигатели с каждым годом все ближе подходят к своему конструкционному и технологическому пределу. Дальнейшее развитие ГТД будет строиться на модернизации и создании комбинированных схем двигателей. Одной из таких схем является гибридная силовая установка, где в качестве второго источника энергии используется электромотор. В данной работе оцениваются преимущества и удельные параметры малоразмерных гибридных силовых установок в системе БПЛА.

В Simcenter Amesim была подготовленная модель гибридной силовой установки на базе малоразмерного ГТД Pegasus компании AMT Netherlands. Для беспилотного летательного аппарата задавались коэффициент аэродинамического сопротивления и коэффициент подъемной силы C_x и C_y от числа Маха полета и угла атаки, а также его массовые характеристики.

Исследовалось влияние подкрутки ротора электродвигателем на параметры двигателя на крейсерском участке полета, при этом для сохранения баланса мощностей без необходимости снижения температуры газа регулировалось критическое сечение реактивного сопла.

В результате расчетов получаются интегральные и удельные параметры двигателя и летательного аппарата. Проводится сравнение расхода топлива, дальности полета, высоты полета и тяги беспилотного летательного аппарата с ГТД и с гибридной силовой установкой при различных мощностях электромотора.

Mathematical modeling of an unmanned aerial vehicle with a small-sized hybrid propulsion

Tezikov S.E., Borovikov D.A.

MAI, Moscow, Russia

Aircraft gas turbine engines are approaching their design and technological limits every year. Further development of the GTE should be based on the modernization and creation of a new engine types. One such scheme is a hybrid power plant, where an electric motor is used as a second source of energy. This paper evaluates the advantages and specific parameters of small hybrid power plants in the UAV system.

The mathematical model based on the Pegasus gas turbine engine made by AMT Netherlands is prepared with a Simcenter Amesim software. For an unmanned aerial vehicle, the coefficient of aerodynamic drag and the coefficient of lift C_x and C_y as a functions of flight Mach number and angle of attack and aircraft weight parameters are used.

The influence of the electric motor additional power supply on the engine shaft during cruise flight is investigated. During the additional power supply the jet nozzle critical area is regulated to maintain the balance of power without reduction of the gas temperature.

As a result of calculations, integral and specific parameters of the engine and aircraft are obtained. A fuel consumption, flight range, flight altitude and thrust of an unmanned aerial vehicle with a gas turbine engine and with a hybrid power plant at various electric motor powers comparison is made.

Применение разведывательно-ударных групп (роев) БПЛА в условиях радиоэлектронного подавления

Трефилов П.М., Мамченко М.В.

ИПУ РАН, г. Москва, Россия

Одной из перспективных концепций ведения боевых действий считается использование гетерогенных группировок роботов на поле боя, предполагающих применение групп (роев) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для решения задач широкого спектра задач. Перспективная разведывательно-ударная группа БПЛА будет иметь следующий состав:

- Ударные аппараты с различными видами боевой нагрузки (авиационные бомбы, ракетное и стрелковое вооружение и др.).

- БПЛА разведки (предназначены для решения задач по обнаружению, идентификации и наведения средств огневого поражения (в том числе ударных БПЛА) на цель, ведения воздушной разведки, а также сбора сведения о состоянии атмосферы и погодных условий).

- Летящие барражирующие боеприпасы (предназначены для уничтожения точечных или площадных целей).

- БПЛА связи.

Конструкция дронов должна быть универсальной и модульной, с возможностью оперативно изменить вид боевой нагрузки силами расчета из 1-2 военнослужащих. Корпус БПЛА должен производиться без использования сложных технологических процессов, стоимость подобного дрона должна быть минимальной из-за большой вероятности огневого поражения на поле боя. Оперативное изменение функционального назначения дрона должно обеспечиваться за счет модульной архитектуры бортовой авионики и стандартизированных, быстро монтируемых/демонтируемых блоков полезной нагрузки. Выполнение данных условий позволит осуществлять оперативный ремонт БПЛА и восполнение потерь группировки в полевых условиях в кратчайшие сроки.

Кроме того, в составе группы целесообразно использовать один БПЛА для выявления функционирующих средств РЭБ/РЭП противника и передачи данных лидеру (группе) для принятия решения по изменению полетного задания.

Таким образом, ударно-разведывательные группы (рой) БПЛА являются одним из ключевых элементов группировок войск (сил) в условиях современных и перспективных способов и методов ведения боевых действий. В перспективе смешанные ударно-разведывательные группы (рой) БПЛА будут способны выполнять (в том числе в автономном режиме) широкий спектр боевых и разведывательных задач. Кроме того, группы (рой) будет способна отслеживать факт применения противником своих средств РЭБ/РЭП и оперативно реагировать для обеспечения выполнения поставленной задачи.

The use of the strike and reconnaissance groups (swarms) of the UAVS in the conditions of electronic warfare/jamming

Trefilov P.M., Mamchenko V.A.

ICS RAS, Moscow, Russia

The use of heterogeneous robotic groups on the battlefield is a promising concept of warfare, and it implies the use of the groups (swarms) of the UAVs for a wide range of tasks. An advance reconnaissance and strike group (swarm) of the UAVs will be as follows:

- Attack vehicles with different types of combat loads (aerial bombs, missiles, small arms weapon systems, etc.)

- Reconnaissance and aerial survey drones (designed to detect, identify, and acquire the targets, conduct aerial reconnaissance, and collect information on the atmosphere and the weather conditions);

- UAV-based loitering air munition (designed to destroy point or area targets).

- Communication UAVs.

The drones' design should be universal and modular, with the possibility of rapidly changing the type of combat load (payload) by a crew of 1-2 persons. UAV's hull should be produced using a simple technological process; the cost of such a drone should be minimal due to the probability of its destruction on the battlefield. The rapid change in the functionality of the drone should be achieved through use of the modular avionics architecture, and standardized, rapidly installed/dismantled payload units. This will allow for the rapid repair of drones and the recover losses within a group (swarm) in the field as soon as possible.

In addition, it is advisable to use one drone in the group (swarm) to identify the use of the enemy's electronic warfare/jamming assets and transmit data to the leader UAV (or the whole group/swarm) to rapidly change the flight mission and avoid the jamming areas.

Thus, the use of attack and reconnaissance groups (swarms) of the UAVs is one of the key elements in modern and promising warfare. In the future, mixed strike and reconnaissance teams (swarms) of drones will be capable of performing a wide range of combat and reconnaissance tasks

(including in the autonomous mode). In addition, groups (swarms) of the UAVs will be able to detect the use of the adversary's electronic warfare/jamming assets, and respond quickly to accomplish the mission.

Использование симулятора полета БПЛА в качестве тренажера оператора БПЛА

Ульянов Д.В., Егоров А.А., Васильев Д.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Сфера применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) широко развивается в настоящее время, в связи с чем на рынке труда возникает новая востребованная профессия – оператор БПЛА. Для квалификации операторов БПЛА необходима программа обучения, включающая в себя теоретическую и практическую часть. Практическая часть обучения предусматривает реальные часы полета. Для минимизации рисков аварийных ситуаций, которые могут возникнуть при реальном полете, требуется разработать специальное программное обеспечение – симулятор полета БПЛА. Симулятор позволит проводить наземную отработку программы обучения с квалифицированным инструктором.

В Отделе автоматизации экспериментов института №3 (МАИ) проводится разработки программного обеспечения, а также исследования возможности обучения операторов БПЛА при помощи симулятора полета.

Разработанный на базе 3D платформы Unreal Engine 4 симулятор полета позволяет в реальном времени визуализировать результаты моделирования при использовании внешнего бортового оборудования. Симулятор поддерживает обмен информации по протоколу MAVLink и тестировался с такими полетными контроллерами как Motek F765-Wing, ArduPilot через интерфейс UART. В функционал симулятора входит система UDP Server-Client, через которую можно визуализировать результаты математического моделирования, используя стороннее приложение, например, среду программирования – Matlab. Симулятор можно использовать в качестве платформы для обучения операторов БПЛА. Обучение проходит по типу: ученик – инструктор, при этом инструктор может наблюдать за действиями ученика, а также корректировать полетное задание в реальном времени.

The use of UAV flight simulator as a UAV operator training

Ulyanov D.V., Egorov A.A., Vasiliev D.S.
MAI, Moscow, Russia

The sphere of application of unmanned aerial vehicles (UAVs) is widely developing at the present time, in connection with which a new demanded profession appears on the labor market - the UAV operator. To qualify UAV operators, a training program is required, including theoretical and practical parts. The practical part of the training includes real flight hours. To minimize the risks of emergency situations that may arise during a real flight, it is required to develop special software – a UAV flight simulator. The simulator will allow you to conduct training on the ground with a qualified instructor.

In the Department of Automation of Experiments of Institute No. 3 (MAI), software is being developed, as well as studies of the possibility of training UAV operators using a flight simulator.

The flight simulator developed on the basis of the 3D platform Unreal Engine 4 allows real-time visualization of simulation results using external on-board equipment. The simulator supports the exchange of information via the MAVLink protocol and has been tested with such flight controllers as Motek F765-Wing, ArduPilot via the UART interface. The functionality of the simulator includes the UDP Server-Client system, through which the results of mathematical modeling can be visualized using a third-party application, for example, the Matlab programming environment. The simulator can be used as a platform for training UAV operators. Training is carried out according to the type: student-instructor, while the instructor can observe the actions of the student, as well as correct the flight task in real time.

Концепт беспилотного летательного аппарата вертикального взлета и посадки с использованием аэродинамической схемы «утка»

Фетисов И.В., Ежов А.Д., Волковой А.В., Трифонов И.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Широкое разнообразие схем беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в современном мире продиктовано, прежде всего, их целевым назначением. Разработанная авторами схема БПЛА позволяет ориентировать летательный аппарат на взлете и посадке в вертикальном положении.

Основная идея заключается в использовании аэродинамической схемы «утка», при которой у летательного аппарата горизонтальное оперение расположено впереди основного крыла. БПЛА такой аэродинамической схемы сочетает в себе ряд преимуществ мультикоптера и классической самолетной схемы, например, позволяет осуществлять возможность вертикального взлета и посадки с неподготовленной площадки малого размера и обладает большей продолжительностью полета по сравнению с мультикоптером при тех же энергозатратах.

БПЛА вертикального взлета и посадки с использованием аэродинамической схемы «утка» оснащен двумя силовыми установками на электрической тяге, суммарной тягой порядка 35 кг. Управление планером производится за счет элеронов, рулей высоты и направления, расположенных на основном крыле, а также переднего горизонтального оперения (ПГО). Силовая часть рулей направления спроектирована таким образом, чтобы выполнять дополнительную функцию, в виде опоры при посадке аппарата.

Что касается недостатков данной аэродинамической схемы, то это то, что при большом угле атаки аппарата, близкому к критическому, срыв потока на ПГО происходит раньше, чем на крыле. Данное явление резко уменьшает подъемную силу ПГО, это сопровождается самопроизвольным опусканием носа самолета – «клевком», что требует особого внимания при посадке и низких скоростях полета. Для эффективного управления летательным аппаратом при посадке, дополнительно, в носовой части планера, в области ПГО было введено устройство «фенестрон», позволяющее создавать разнонаправленную тягу в поперечном направлении. Разработанная схема автоматического управления и стабилизации позволила компенсировать данное явление и увеличить устойчивость БПЛА, таким образом, что все положения ПГО на разных режимах полета, приводящие к «клевку», управляются компьютером, вне зависимости от управляющих воздействий пилота на органы управления БПЛА.

Разработанный концепт БПЛА позволяет в кратчайшие сроки с любой неподготовленной поверхности произвести запуск аппарата для производства мониторинга местности, геолого-разведывательных работ и участвовать в поисково-спасательных операциях.

The concept of an unmanned aerial vehicle with vertical take-off and landing using a canard aerodynamic scheme

Fetisov I.V., Ezhov A.D., Volkovoy A.V., Trifonov I.V.

MAI, Moscow, Russia

The variety of unmanned aerial vehicle (UAV) schemes in the modern world is dictated, first of all, by their intended purpose. The UAV scheme developed by the authors allows to orient the aircraft in a vertical position during takeoff and landing.

The main idea is to use an canard wing configuration, in which the horizontal tail of the aircraft is located in front of the main wing. A UAV of such an aerodynamic design combines a number of advantages of a multicopter and a classic airplane design, for example, it allows vertical take-off and landing from an unprepared small-size platform and has a longer flight duration compared to a multicopter at the same power consumption.

A vertical take-off and landing UAV using a canard scheme is equipped with two electric propulsion systems with a total thrust of about 35 kg. The glider is controlled by ailerons, elevators and rudders located on the main wing, as well as the front horizontal tail (FHT). The power section

of the rudders is designed in such a way as to perform an additional function, in the form of a support when landing the vehicle.

As for the disadvantages of this aerodynamic scheme, it is that at a large angle of attack of the vehicle, close to the critical one, the flow stall on the FHT occurs earlier than on the wing. This phenomenon sharply reduces the lifting force of the FHT, this is accompanied by a spontaneous lowering of the aircraft nose - "peck", which requires special attention during landing and low flight speeds. For effective control of the aircraft during landing, in addition, in the nose of the glider, in the FHT area, a fenestron was introduced, which allows creating multidirectional thrust in the transverse direction. The developed scheme of automatic control and stabilization made it possible to compensate for this phenomenon and increase the stability of the UAV, in such a way that all positions of the FHT in different flight modes, leading to "pecking", are controlled by a computer, regardless of the pilot's control actions on the UAV controls.

The developed concept of the UAV allows, in the shortest possible time, from any unprepared surface to launch an apparatus for terrain monitoring, geological exploration and participate in search and rescue operations.

Математические модели измерительных систем беспилотного конвертоплана

Хорев Т.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время широкое распространение получили беспилотные летательные аппараты (БПЛА) самолётного типа и мультироторные летательные аппараты (МЛА). Однако они имеют определенные недостатки. МЛА сильно ограничены в скорости и длительности полета, а БПЛА самолетного типа часто требуют специальной инфраструктуры и более ограничены в своей маневренности. Перспективным БПЛА, лишенным этих недостатков, является конвертоплан, способный менять режим полета, между самолетным мультироторным.

Для применения конвертоплана в реальных условиях ему требуется измерительные системы определяющие его угловую ориентацию, местоположение и параметры управления, необходимые для решения задач управления его движением и навигации. В составе бортового обеспечения предлагается использовать бесплатформенную инерциальную навигационную систему (БИНС) с коррекцией от глобальной навигационной спутниковой системы в режиме real time kinematic. Для дополнительной коррекции курсового угла целесообразно также использовать магнитометр, а для коррекции высоты полета – выотомер.

Целесообразно БИНС конвертоплана строить на основе использования микромеханических инерциальных модулей в составе трех гироскопов и трех акселерометров. Микромеханические датчики обладают наилучшими массогабаритными характеристиками и низки электропотреблением. В работе рассмотрены математические модели шумовых погрешностей микромеханических акселерометров и гироскопов, модель измерений триады магнитометров и GPS приемника. Так же в работе представлены математические модели ошибок БИНС и предложена схема комплексирования предложенного бортового обеспечения конвертоплана.

Mathematical models of autonomous tiltrotor measurement systems

Khorev T.S.

MAI, Moscow, Russia

Currently, unmanned aerial vehicles (UAVs) of aircraft type and multi-rotor aircraft (MLA) are widely used. However, they have certain disadvantages. MLA are severely limited in flight speed and duration, and aircraft-type UAVs often require special infrastructure during takeoff and are more limited in their maneuverability. A promising UAV, devoid of these shortcomings, is a tiltrotor capable of changing the flight mode between aircraft and multi-rotor.

To use a tiltrotor in real conditions, it needs measuring systems that determine its angular orientation, location and control parameters necessary to solve the problems of controlling its movement and navigation. As part of the onboard support, it is proposed to use a strapdown inertial

navigation system (SINS) with correction from the global navigation satellite system in real time kinematic mode. It is also proposed to use a magnetometer for additional heading angle correction, and an altimeter to correct the flight altitude.

It is advisable to build the SINS of the tiltrotor based on the use of micromechanical inertial modules consisting of three gyroscopes and three accelerometers. Micromechanical sensors have the best weight and size characteristics and low power consumption. The paper considers mathematical models of noise errors of micromechanical accelerometers and gyroscopes, a model of measurements of a triad of magnetometers and a GPS receiver. Also, in the work, mathematical models of SINS errors are presented and a scheme for integrating the proposed onboard support of the tiltrotor is proposed.

Концепция построения гибридных летающих мультироторных платформ с разделенной нагрузкой и её экспериментальное обоснование

Чемоданов В.Б., Климов И.С., Гаврилин К.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

Целью данной работы является рассмотрение основных подходов к разработке и построению гибридных летающих мультироторных платформ с непосредственным разделением функций управления подъемной силой и угловой стабилизацией (разделенная нагрузка). В ходе выполнения работы была создана опытная модель аппарата для проверки гипотез и проведения экспериментов.

Основной проблемой классических мультироторных систем является полетное время – оно ограничено типом энергоносителя, например, литий-полимерным аккумулятором. Плотность энергии в таких аккумуляторах и при существующих технологиях их производства почти достигла своего максимума. В связи с этим нами было предложено рассмотреть различные типы энергоносителей и компоновок мультироторных систем для обеспечения максимальной энергоэффективности аппарата.

По результатам анализа существующих вариантов схем мультироторных аппаратов и используемых в них энергоносителей нами была предложена схема гибридной летающей мультироторной платформы с гибридной силовой установкой [1,2]. Главной особенностью, предложенной нами схемы, является раздельное использование управляющих малоинерционных двигателей для обеспечения угловой стабилизации и силового двигателя внутреннего сгорания со специальной трансмиссией для передачи крутящего момента на силовые винты, обеспечивающих основную часть подъемной силы, что и позволяет нам говорить о принципе разделения нагрузки. Такая схема позволяет создать аппарат с большим полётным временем, чем у аналогов.

В ходе работы, была разработана опытная модель аппарата для проверки гипотез, разработки и настройки систем управления аппарата, осуществления дополнительных исследований и проведения различных экспериментов, которые невозможно осуществить на компьютерных моделях из-за своей сложности и повышенными требованиями, предъявляемыми к испытаниям.

1. Патент РФ №2019106412, 14.01.2020. Гибридная мультироторная летающая платформа // Патент России № 2710968. 2019. Бюл. № 2. /Елисеев В.Д., Климов И.С., Котельникова А.В., Мясников А.А., Парфенов Н.М., Чемоданов В.Б., Штракин В.В.

2. Завольский И.Н., Климов И.С., Котельникова А.В., Рыбников С.И., Чемоданов В.Б. О некоторых подходах к построению гибридных мультироторных летающих платформ и управлению ими/ Материальперой Общероссийской научно-практической конференции. Москва: Изд-во «Доброе слово», 2018. — С. 93-98. ISBN 978-5-89796-640-0.

The concept of building hybrid flying multi-rotor platforms with a divided load and its experimental justification

Chemodanov V.B., Klimov I.S., Gavrilin K.B.

MAI, Moscow, Russia

The purpose of this work is to consider the main approaches to the development and construction of hybrid flying multi-rotor platforms with direct separation of the functions of lift control and

angular stabilization (split load). In the course of the work, an experimental model of the apparatus was created to test hypotheses and conduct experiments.

The main problem of classical multi-rotor systems is flight time – it is limited by the type of energy carrier, for example, a lithium-polymer battery. The energy density in such batteries and with existing technologies for their production has almost reached its maximum. In this regard, we were invited to consider different types of energy carriers and layouts of multi-rotor systems to ensure maximum energy efficiency of the apparatus.

Based on the results of the analysis of the existing versions of the schemes of multi-rotor devices and the energy carriers used in them, we proposed a scheme of a flying multi-rotor platform with a hybrid power plant [1,2]. The main feature of our scheme is the separate use of control low-inertia engines to ensure angular stabilization and a power internal combustion engine with a special transmission for transmitting torque to power screws that provide the bulk of the lift – which allows us to talk about the principle of load sharing. This scheme allows you to create an apparatus with a longer flight time than analogues.

In the course of work, an experimental model of the apparatus was developed to test hypotheses, develop and configure control systems of the apparatus, carry out additional research and conduct various experiments that cannot be carried out on computer models due to their complexity and increased test requirements.

Структура и законы управления тягой в различных режимах полёта конвертоплана типа «тандем»

¹Черноморский А.И., ¹Курис Э.Д., ¹Лельков К.С., ²Крутов А.А., ¹Никитенко А.И.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Беспилотные летательные аппараты (БЛА), выполненные по схеме конвертоплан, которые могут совершать взлёт и посадку как вертолёт, а перемещение по маршруту как самолёт, в последние годы привлекают всё большее внимание разработчиков [1]. В докладе для конвертоплана типа «тандем» изложена разработанная структура управления БЛА и осуществлён синтез законов управления его исполнительными органами в основных режимах полёта конвертоплана – вертолётного, самолётного и переходного от одного к другому.

Управление движением БЛА в вертолётном режиме осуществляется, главным образом, путём синхронного изменения тяги двигателей винтомоторной группы (ВМГ), а в самолётном режиме ещё и аэродинамическим способом за счёт отклонения элеронов, расположенных на крыльях БЛА. Предложена двухконтурная система управления движением БЛА. Во внешнем контуре осуществляется регулирование траекторным движением, а во внутреннем – управление и стабилизация углов тангажа, курса и крена, а также высоты для вертолётного и скорости для самолётного режимов. При реализации управлений используются ПИД-регуляторы.

Применительно к переходным режимам рассмотрены два случая. При переходе от вертолётного режима к самолётному обеспечивается выдерживание заданного угла тангажа БЛА, его стабилизация по углам курса и крена. Этот переход реализуется, в основном, за счёт поворота осей вращения двигателей ВМГ из вертикального положения в горизонтальное. При этом закон изменения тяги двигателей формируется так, чтобы обеспечивался набор высоты с заданной постоянной вертикальной скоростью. Как показало моделирование, управление углами поворота осей вращения двигателей целесообразно осуществлять синхронно по аperiodическому закону. При осуществлении перехода из самолётного режима в вертолётный учитывалась необходимость предварительного уменьшения горизонтальной скорости БЛА с целью уменьшения влияния аэродинамических сил.

Результаты моделирования подтвердили эффективность предложенных структуры и законов управления, конвертопланом в различных режимах его полёта.

1. Liu Zhong, He Yuqing Yang Liying, Han Jianda. Control techniques of tilt rotor unmanned aerial vehicle systems: A review. Chinese Society of Aeronautics and Astronautics & Beihang University Chinese Journal of Aeronautics 2016

The structure and laws of thrust control in various flight modes of a tandem tiltrotor

¹Chernomorsky A.I., ¹Kuris E.D., ¹Lelkov K.S., ²Krugov A.A., ¹Nikitenko A.I.

¹MAI, Moscow, Russia

²TsAGI, Zukovsky, Russia

Unmanned aerial vehicles (UAVs), made according to the tiltrotor scheme, which can take off and land like a helicopter, and move along a route like an airplane, have attracted more and more attention of developers in recent years [1]. The report for the tandem tiltrotor describes the developed control structure of the UAV and the synthesis of the laws of control of its executive bodies in the main flight modes of the tiltrotor - helicopter, airplane and transition from one to another.

Controlling the movement of a UAV in a helicopter mode is carried out mainly by means of a synchronous change in the thrust of the engines of the propeller-driven group (PMG), and in an airplane mode it is also aerodynamically due to the deflection of the ailerons located on the wings of the UAV. A two-circuit UAV motion control system is proposed. In the outer loop, the trajectory motion is regulated, and in the inner loop, the control and stabilization of the pitch, heading and roll angles, as well as the altitude for helicopter and speed for airplane modes, is carried out. When implementing the controls, PID controllers are used.

Two cases are considered in relation to transient modes. When switching from a helicopter to an airplane mode, the UAV maintains a given pitch angle and stabilizes it along the course and roll angles. This transition is realized mainly due to the rotation of the axes of rotation of the VMG engines from the vertical to the horizontal position. In this case, the law of change in the thrust of the engines is formed in such a way as to ensure the climb with a given constant vertical speed. Modeling has shown that it is advisable to control the angles of rotation of the rotation axes of the motors synchronously according to the aperiodic law. When implementing the transition from the airplane mode to the helicopter mode, the need to preliminary reduce the horizontal speed of the UAV was taken into account in order to reduce the influence of aerodynamic forces.

The simulation results confirmed the effectiveness of the proposed structure and control laws, tiltrotor in various modes of its flight.

1. Liu Zhong, He Yuqing Yang Liying, Han Jianda. Control techniques of tilt rotor unmanned aerial vehicle systems: A review. Chinese Society of Aeronautics and Astronautics & Beihang University Chinese Journal of Aeronautics 2016

Кольцевые алгоритмы шифрования для обеспечения защищенного канала хранения и передачи информации в группах мобильных роботов

Шабанов В.Б.

НИИ МВС ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Использование групп мобильных БЛА давно сыскали своих поклонников, применение группового взаимодействие позволяет расширить круг решаемых задач. Управление коллективом требует создания защищенного извне канала хранения информации, позволяющего достичь высокого уровня взаимодействия группы в условиях меняющейся окружающей среды. В идеале если система будет едина с базой знаний и заданий, формируя защищенную оболочку системы. Реализация такой системы возможна благодаря использованию блокчейн технологий и алгоритмам кругового шифрования, применительно к групповому управлению, алгоритм позволит создать децентрализованный криптозащищенный хранения данных.

Процесс поиска правильного хеша в алгоритме не зависит от частого обращения к майнеру, как это происходит в алгоритмах подобных SHA-256, он хранится в памяти устройства. Это позволяет построить сеть, защищенную от так называемой «атаки 51%», когда больше половины вычислительной мощности сети принадлежит одному устройству.

Процедура анонимизация пользователя происходит путем генерации открытого ключа отправителя и нескольких других ключей, делая невозможным процедуру идентификации отправителя. На стороне получателя генерируется новый ключ для каждого перевода, в том числе если отправитель один и тот же.

Применительно к групповой робототехнике и децентрализованным системам хранения данных, алгоритм еще не использовался. Весомыми преимуществами его использования можно считать:

- Полную анонимность отправителя сообщения. В отличие от более известных блокчейнов типа Ethereum, Bitcoin, Litecoin, в которых изучив цепочку блоков можно найти отправителя, CryptoNote благодаря методу круговых подписей позволяет защитить устройство передающее данные в цепочку блоков. Это преимущество не дает возможности отследить отправителя для анализа отправляемых им данных и возможному определению его месторасположения.

- Отсутствие закодированных констант, CryptoNote позволяет корректировать размер блока основываясь на исторических данных сети.

- Перерасчет сложности блока после каждого добытого.

Использование шифрованного распределенного реестра для управления группами БЛА довольно перспективное направление, позволяющее получить высокую криптостойкость системы хранения данных и конечных целей. Используя указатели, можно проследить изменения данных, для дальнейшего анализа.

Encryption ring algorithms to provide a secure channel for storing and transmitting information within groups of mobile robots

Shabanov V.B.

NII MVS, Taganrog, Russia

The use of groups of mobile UAVs has found their fans for a long time, the use of group interaction allows expanding the range of solved problems. Team management requires the creation of an externally protected information storage channel that allows achieving a high level of group interaction in a changing environment. Ideally, the system will be unified with the knowledge and task database, forming a protected shell of the system. The implementation of such a system is possible thanks to the use of block technology and algorithms of circular encryption, as applied to group management, the algorithm will create a decentralized cryptographic data storage.

The process of finding the right hash in the algorithm does not depend on the frequency of access to the miner, as it happens in algorithms such as SHA-256, it is stored in the memory of the device. This allows to build a network protected from the so-called "51% attack", when more than half of the computing power of the network belongs to one device.

The procedure of user anonymization is performed by generating a public key of the sender and several other keys, making it impossible to identify the sender. A new key for each transfer is generated on the recipient's side, including if the sender is the same.

In the case of group robotics and decentralized storage systems, the algorithm has not yet been used. We can consider its use as a significant advantage:

- Complete anonymity of the message sender. Unlike the more famous Ethereum, Bitcoin, Litecoin blocks, where you can find the sender by studying a chain of blocks, CryptoNote, thanks to the method of circular signatures, allows you to protect the device transmitting data to the chain of blocks. This advantage makes it impossible to trace the sender to analyze the data it sends and possibly locate the sender.

- No encoded constants, CryptoNote allows you to adjust the block size based on historical network data.

- Recalculation of block complexity after each extraction.

The use of an encrypted distributed registry for managing UAV groups is quite a promising trend, allowing to obtain high cryptographic stability of the data storage system and its end goals. Using pointers, you can track changes in the data for further analysis.

Разработка методов управления и моделирование динамики квадрокоптера с поворотными роторами

Шавин М.Ю.

Сколтех, г. Москва, Россия

Принцип движения стандартного квадрокоптера, который имеет четыре управляющих сигнала против шести степеней свободы, не позволяет ему независимо управлять положением и ориентацией, что затрудняет решать ему некоторые задачи, например, фиксировать камеру на произвольно движущемся объекте, не изменяя своего положения в пространстве. В работе рассматривается усовершенствованная конструкция квадрокоптера с дополнительными актуаторами – сервоприводами, предназначенными для поворота роторов, применение которых позволяет увеличить размерность вектора управляющего воздействия и независимо управлять положением центра масс аппарата и ориентацией его корпуса.

Конструкция аппарата содержит корпус, с выходящими из него четырьмя лучами, на концах которых находятся роторы с пропеллерами. Каждый луч может вращаться вокруг продольной оси. Центры масс всех тел лежат в одной плоскости.

Движение центра масс системы обусловлено силами гравитации, сопротивления воздуха и тягой двигателей. Вращение корпуса аппарата обусловлено моментами со стороны поворотных роторов и гироскопическим моментом самого корпуса беспилотного летательного аппарата.

Целью управления является обеспечение положения центра масс аппарата в пространстве и ориентации его корпуса в любой момент времени. В связи с тем, что система динамических уравнений, определяющих движение аппарата, недоопределена, так как размерность вектора управляющего воздействия – 8, превышает количество степеней свободы аппарата – 6, появляется возможность ввести дополнительные уравнения, отвечающих за балансировку тяги между двигателями и получить аналитическое решение системы, тем самым обратив динамику.

Development of control methods and simulation of the quadcopter dynamics with rotary rotors

Shavin M.Y.

Skoltech, Moscow, Russia

The principle of motion of a standard quadcopter, which has four control signals against six degrees of freedom, does not allow it to independently control position and attitude, which makes it difficult to solve some problems, for example, to fix a camera on an arbitrarily moving object without changing its position in space. The paper considers an improved design of a quadcopter with additional actuators – servos designed to rotate the rotors, the use of which makes it possible to increase the dimension of the control vector and independently control the position of the vehicle's center of mass and its attitude.

The construction of the aerial vehicle includes a body with four beams, at the ends of which rotors with propellers attached. Each beam can rotate around the longitudinal axis. The centers of mass of all bodies lie in the same plane.

The movement of the center of mass of the system is due to the forces of gravity, air drag and thrust of rotors. The rotation of the body of the vehicle is due to the torques acting from the rotors and the gyroscopic torque of the body.

The control target is to track the target position of the vehicle's center of mass in space and the target attitude of its body frame. Due to the fact that the system of dynamic equations that describe the motion of the vehicle is underdetermined, since the dimension of the control vector – 8, exceeds the number of degrees of freedom of the vehicle – 6, it becomes possible to introduce additional equations responsible for balancing the thrust between the rotors and obtain an analytical solution to the system, thereby inverse its dynamics.

Актуальные вопросы интеграции беспилотных летательных аппаратов в воздушное движение

¹Швецова С.В., ²Швецов А.В.

¹ДВГУПС, г. Хабаровск, Россия

²ВГУЭС, г. Владивосток, Россия

Проблема безопасности движения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) непосредственно связана с устойчивостью границ выделенного для полетов БПЛА воздушного коридора (ВВК), при выходе из которых БПЛА может столкнуться с другими наземными/воздушными ТС, зданиями или людьми.

Устойчивость границ выделенного воздушного коридора, – состояние, при котором полет БПЛА (от точки взлета до точки посадки) возможен только в границах ВВК.

Обеспечение такой устойчивости возможно на основе создания условий блокирования рассматриваемого объекта в выделенном для его передвижения воздушном коридоре, что позволит предотвратить, аварийные ситуации, связанные с выходом объекта из границ выделенного воздушного коридора. Технически данная задача сводится к предотвращению возможности пересечения БПЛА границ ВВК.

При такой постановке задачи представляется целесообразным обеспечить постоянную связь БПЛА с несвободной материальной точкой (НМТ) расположенной в центре окружности ВВК и ограниченной в передвижении осью ВВК.

При этом полученная постоянная связь должна ограничивать расхождение рассматриваемых объектов, на расстояние, при котором БПЛА (либо его часть) выйдет из границ ВВК.

Так, при НМТ и БПЛА в форме сферы и ВВК в форме цилиндра, постоянная связь будет обеспечивать требуемое ограничение, при условии, что она не превышает расстояние равное длине радиуса ВВК за вычетом длины БПЛА и $\frac{1}{2}$ длины НМТ.

Topical issues of the integration of unmanned aerial vehicles into air traffic

¹Shvetsova S.V., ²Shvetsov A.V.

¹FESTU, Khabarovsk, Russia

²VSUES, Vladivostok, Russia

The problem of the safety of the movement of unmanned aerial vehicles (UAVs) is directly related to the stability of the boundaries of the air corridor (IAC) allocated for UAV flights, upon exiting which the UAV may collide with other ground/air vehicles, buildings or people.

The stability of the boundaries of the designated air corridor is a state in which the UAV flight (from the take-off point to the landing point) is possible only within the IAC.

Ensuring such stability is possible on the basis of creating conditions for blocking the object in question in the air corridor allocated for its movement, which will prevent emergencies associated with the exit of the object from the boundaries of the allocated air corridor. Technically, this task is reduced to preventing the possibility of UAVs crossing the IAC.

With this formulation of the problem, it seems expedient to ensure constant communication of the UAV with a non-free material point (LMP) located in the center of the IAC circle and limited in movement by the IAC axis.

In this case, the obtained constant connection should limit the divergence of the objects under consideration, at the distance at which the UAV (or part of it) will leave the IAC boundaries.

So, with LMP and UAV in the form of a sphere and IAC in the form of a cylinder, the constant connection will provide the required limitation, provided that it does not exceed a distance equal to the length of the IAC radius minus the UAV length and $\frac{1}{2}$ the length of the LMP.

Информационное обеспечение полета группы разнородных беспилотных летательных аппаратов на основе технологии облачных вычислений

¹Шибает В.М., ²Сазонова Т.В., ¹Пахунов А.С., ¹Ефимова И.Е., ¹Ершов В.С.

¹ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

²РПКБ, г. Раменское, Россия

Основные проблемы выбора характеристик бортовой цифровой вычислительной машины беспилотного летательного аппарата (БЦВМ БЛА) определяются возложенными на БЛА задачами и особенностями исполняемого программного алгоритма.

Для комплекса бортового оборудования (КБО) БЛА помимо высоких требований к вычислительным мощностям процессора БЦВМ, к примеру, при решении задачи обеспечения контроля безопасности полетов или задачи распознавания объектов, огромное значение имеет его масса.

Современные БЦВМ, применяемые в пилотируемых летательных аппаратах, не в полной мере соответствуют выдвигаемым критериям применимости на БЛА.

Одним из современных направлений повышения эффективности беспилотных авиационных систем является переход к облачным вычислениям (Cloud computing).

Для решения задач мониторинга и контроля обеспечения безопасности полетов группы БЛА, состоящей из аппаратов разного типа, предлагается рассмотреть применение облачной технологии (Cloud UAV API – Cloud Unmanned Aerial Vehicle Application Programming Interface).

Основными характеристиками и функциями технологии Cloud UAV API являются масштабируемость и эластичность с возможностью контролировать безопасность полетов группы БЛА путем внедрения пользовательских приложений без ограничений к операционной среде и аппаратной части, из любого места с реализацией большинства вычислений в облаке, имеющем огромную вычислительную мощность, а не на бортовых вычислителях БЛА, что существенно снижает потребление ресурса энергоносителей БЛА и повышает его возможности.

Информационное обеспечение полета heterogeneous UAV group based on cloud computing technology

¹Shibaev V.M., ²Sazonova T.V., ¹Pahunov A.S., ¹Efimova I.E., ¹Ershov V.S.

¹TsAGI, Zhukovsky, Russia

²Ramenskoe Desigh Company, Ramenskoe, Russia

The main problems of choosing the characteristics of an onboard computer unmanned aerial vehicle (OBC UAV) are determined by the tasks assigned to the UAV and the features of the software algorithm being executed.

The complex of onboard equipment of the UAV at the decision of a problem of safety of management of flights or a problem of recognition of objects should correspond to high requirements to computing capacities and weight OBC UAV.

Modern OBC UAV used in manned aircraft do not fully meet the criteria for applicability on UAVs.

One of the modern directions of increase of efficiency of information systems of unmanned aerial systems is transition to cloud computing.

To solve the tasks of monitoring and control of flight safety of UAV group consisting of devices of different types it is proposed to consider the application of cloud technology (Cloud UAV API – Cloud Unmanned Aerial Vehicle Application Programming Interface).

The main features and functions of Cloud UAV API technology are: scalability and elasticity with the ability to control the security of UAV group flights using user applications without restrictions to the operating environment and hardware, from any place and at any time, with the ability to perform most calculations in the cloud, which has huge computing power, rather than on OBC UAV, which significantly reduces the resource consumption of UAV energy and increases its capabilities.

Комплексный стенд для статических испытаний беспилотного летательного аппарата

Шрамко К.К., Филин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Беспилотные летательные аппараты получают все более широкое применение в настоящее время. Большой проблемой является их малая надежность в процессе эксплуатации. Чтобы повысить точность их проектирования необходимо правильно воспроизводить нагрузки при испытаниях, а также правильно снимать и обрабатывать полученные данные.

Целью исследования является проектирование комплексного стенда статических испытаний беспилотного летательного аппарата с учетом слежения нагрузок и снятием результатов с агрегатов изготовленных из композиционных материалов.

Комплексный стенд проектируется для всех случаев нагружения воспроизводящих поведение аппарата в процессе эксплуатации. Данный стенд должен представлять собой жесткую конструкцию для исключения возникновения паразитных моментов и иметь подготовленные места крепления для системы нагружения. Система нагружения должна быть оборудована самоустанавливающимися узлами для создания точного воспроизведения нагружения в процессе деформации конструкции аппарата. Ложементы непосредственно передающие усилия на конструкцию должны быть одновременно и фиксирующимися в определенных сечениях и самоустанавливающимися для полной передачи расчетной нагрузки.

Систему нагружения предварительно необходимо обезвешивать, чтобы не возникало преднагруженного состояния агрегатов изготовленных с применением композитов, т.к. даже на 10% от эксплуатационной нагрузки происходит обжатие материала. Учет этого обжатия необходимо учитывать при проведении испытаний.

В процессе проектирования данный стенд моделируется методом конечных элементов, где проверяются все усилия, приходящие на аппарат и деформации, возникающие в процессе его нагружения. Итерационным методом проверяется возможное изменение нагрузки, передаваемой силовозбудителем в процессе перемещений элементов конструкции летательного аппарата.

Стенд помимо системы нагружения должен быть оборудован системой снятия деформаций и напряжений в процессе испытаний для каждого расчетного случая. В данном стенде предлагается использовать тензометрическую систему с обезвешиванием систем коммуникаций и созданием соединительной площадки для возможности переключения с помощью рабочего жгута системы снятия показаний.

Таким образом, представленный комплексный стенд для статических испытаний позволяет получать более точные характеристики конструкции беспилотного летательного аппарата, а также снизить стоимость и сроки проведения испытаний.

Complex test stand for unmanned aerial vehical static tests

Shramko K.K., Filin A.A.

MAI, Moscow, Russia

Unmanned aerial vehicles are becoming more and more widely used today. A big problem is their low reliability during operation. To improve the accuracy of their design, it is necessary to correctly reproduce the loads during testing, as well as to correctly remove and process the obtained data.

The aim of the study is to design an integrated test bench for static tests of an unmanned aerial vehicle, taking into account the tracking of loads and taking the results from units made of composite materials.

The complex stand is designed for all loading cases that reproduce the behavior of the apparatus during operation. This stand must be a rigid structure to exclude the occurrence of parasitic moments and have prepared attachment points for the loading system. The loading system should be equipped with self-aligning units to create an accurate reproduction of loading during deformation of the apparatus structure. Lodges directly transferring forces to the structure must be simultaneously fixed in certain sections and self-aligning for full transfer of the design load.

The loading system must first be outweighed so that there is no pre-loaded state of aggregates made with the use of composites, because even 10% of the operating load is compressed. Consideration of this reduction must be taken into account when conducting tests.

During the design process, this stand is modeled by the finite element method, where all the forces arriving at the apparatus and the deformations that occur during its loading are checked. The iterative method is used to check the possible change in the load transmitted by the power exciter during the movement of the aircraft structural elements.

In addition to the loading system, the stand must be equipped with a system for relieving deformations and stresses during testing for each design case. In this stand, it is proposed to use a strain gauge system with weighing of communication systems and creating a connecting platform for switching using a working harness of the reading system.

Thus, the presented complex stand for static tests allows obtaining more accurate characteristics of the design of an unmanned aerial vehicle, as well as reducing the cost and timing of tests.

Комплексные экспериментальные исследования разработанных беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа с соосной схемой расположения несущих винтов с использованием пилотажных стендов

Яшин А.Г.

АО «Авиаавтоматика» им. В.В. Тарасова», г. Курск, Россия

В настоящее время в мире широко применяются беспилотные летательные аппараты (БЛА) самолетного и вертолетного типа для выполнения гражданских и военных задач различного назначения. Однако до сих пор остается незадействованным промежуточный класс БЛА вертолетного типа с массой от 200 до 1500 кг.

В связи с этим, предприятием АО «Авиаавтоматика» им. В.В. Тарасова» был произведен ряд работ по созданию и исследованию полученных образцов БЛА массой до 350 кг и массой до 800 кг.

Разработка БЛА массой до 350 кг осуществлялась путем интеграции систем автоматического управления в существующий летательный аппарат, построенный на базе бензинового двухтактного авиационного двигателя внутреннего сгорания.

Разработка БЛА массой до 800 кг велась на основе несущей системы существующего летательного аппарата, силовая установка выполнена на базе электрического привода несущих винтов (ЭПНВ) с постоянными магнитами.

ЭПНВ конструктивно состоит из двух секций, каждая из которых отвечает за вращение одного из винтов соосной несущей системы. Механическая взаимосвязь между секциями отсутствует.

БЛА подобного типа, в настоящее время, не имеет аналогов в мире.

Для обеспечения безопасности при проведении наземных экспериментальных исследований были разработаны пилотажные тренажеры, исключаящие возможность опрокидывания летательных аппаратов при подаче некорректных команд управления, приводящих к отклонению вертикальной оси вертолета на критический угол.

Результаты экспериментальных исследований БЛА массой до 800 кг. Исследования проведены успешно: раскрутка валов несущей системы осуществлялась поэтапно до частоты вращения 115 об/мин с фиксацией полученных характеристик работы. Отмечается высокая стабильность работы и низкий уровень вибраций конструкции.

Результаты экспериментальных исследований БЛА массой до 350 кг. В процессе наземной отработки в пилотажном тренажере были осуществлены в автоматическом режиме: запуск двигателя БЛА, прогрев, выход на режим холостого хода, раскрутка лопастей; при помощи дистанционного управления: взлет, висение в режиме автоматической стабилизации по углам тангажа и крена с ручной корректировкой угла по курсу, посадка и останов двигателя по команде с дистанционного пульта управления.

По результатам исследований сделан вывод о том, что аппарат пригоден для проведения летно-конструкторских исследований, после получения необходимого для этого разрешения

на проведение первого полета, которое выдается методическим советом экспериментальной авиации.

Comprehensive experimental studies of the developed unmanned aerial vehicles with a coaxial scheme of the locating propellers with the use of laying stands

Yashin A.G.

“Aviaavtomatika” n.a. V. Tarasov” JSC, Kursk, Russia

Currently, unmanned aerial vehicles (UAVs) aircraft and helicopter types are widely used in the world to perform civil and military tasks for various purposes. However, the intermediate class of helicopter-type UAVs with a mass of 200 to 1500 kg still remains unused.

The enterprise JSC "Aviaavtomatika" named after V.V. Tarasov", a number of works were carried out to create and study UAV samples weighing up to 350 kg and weighing up to 800 kg.

Development of UAVs weighing up to 350 by integrating automatic control systems into the existing aircraft, built on the basis of a gasoline two-stroke aircraft internal combustion engine.

The development of UAVs weighing up to 800 kg was carried out on the basis of the carrier system of the helicopter, the power plant is made on the basis of an electric rotor drive (ERD) with permanent magnets.

The ERD structurally consists of two sections, each of which is responsible for the rotation of one of the screws of the coaxial bearing system. There is no mechanical relationship between the sections.

UAVs of this type, at present, have no analogues in the world.

To ensure safety when using ground-based experimental studies, flight simulators have been developed that exclude the possibility of overturning aircraft when incorrect control commands are given, leading to a deviation of the vertical axis of the helicopter at a critical angle.

The results of experimental studies of UAVs weighing up to 800 kg is that the research was carried out successfully: the spinning of the shafts of the bearing system is carried out in stages up to a rotational speed of 115 rpm with the fixation of the performance characteristics. High stability of operation and low level of vibration of the structure are noted.

The results of experimental studies of UAVs weighing up to 350 kg are the following: in the process of ground training in the flight simulator, the following were implemented in automatic mode: starting the UAV engine, warming up, entering the idle mode, spinning the blades; by remote control: takeoff, automatic stabilization in pitch and roll angles with manual correction of the angle along the course, landing and engine shutdown on command from the remote control.

Based on the results of the study, we can conclude that the device is suitable for flight design research, after obtaining the necessary permission for this to conduct the first flight, which is issued by the methodological council of experimental aviation.

2. Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки

2. Aviation and Rocket Engines and Power Installations

Способы аппроксимации характеристик компрессоров

¹Авдеев С.В., ²Курс К.Е.

¹Самарский университет, ²ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, Россия

Известно, что на изменение большинства параметров ГТД существенное влияние оказывают характеристики компрессоров. В связи с этим особо важным в процессе математического моделирования является определение характеристик компрессоров на различных этапах жизненного цикла двигателя, а также способы их аппроксимации, представлений и интерполяции с учётом цели их дальнейшего применения.

Для удовлетворения требованиям, которые возникают при решении задач идентификации модели ГТД, было предложено два способа аппроксимации характеристик компрессоров. В будущем планируется их интеграция в методику многорежимной идентификации.

Первый способ состоит в последовательной аппроксимации изолиний КПД кривыми по уравнению, заданному в полярной системе координат. Уравнение аппроксимации получено на основе усовершенствованного уравнения эллипса. Аппроксимация проводится путём подбора 6-ти статистических коэффициентов. Данный метод имеет существенные недостатки: возможность взаимного пересечения аппроксимированных изолиний КПД, сложность в интерполяции значений.

Во втором способе предлагается аппроксимировать изолинии КПД характеристик компрессоров эллипсами. Аппроксимация при этом проводится для одной исходной изолинии КПД, а последующие определяются на её основе с помощью корректирующих коэффициентов (расширения и смещения центра исходного эллипса). Данное уравнение аппроксимации включает зависимость от КПД, что позволяет проводить аппроксимацию не дискретно (каждой отдельной изолинии), а всей характеристики в целом. Таким образом, данный способ позволяет избежать все недостатки предыдущего метода, но, следует признать, за счёт снижения качества аппроксимации.

Аппроксимация напорных веток характеристик компрессоров проводилась также в полярной системе координат. Это позволило избавиться от необходимости выбирать очень малый шаг при аппроксимации полиномами по расходу воздуха через компрессор на режимах близких к заклиниванию, а на высоких режимах – во всём диапазоне значений.

Среднеквадратичное отклонение полученных аппроксимаций изолиний КПД для обоих методов составило менее 10%, что говорит о приемлемом качестве аппроксимаций. Для напорных веток среднеквадратичное отклонение составило менее 3%.

Methods for approximating compressor characteristics

¹Avdeev S.V., ²Kurs K.E.

¹Samara University, ²PJSC “UES-Kuznetsov”, Samara, Russia

The characteristics of compressors have a significant effect on the change in most GTE parameters. In this regard, it is especially important to determine the characteristics of compressors at various stages of the engine life cycle, as well as methods of their approximation and interpolation.

To meet the requirements that arise when solving the problems of identification of the GTE model, two methods were proposed for approximating the characteristics of the compressors. In the future, it is planned to integrate them into the multi-mode identification methodology.

The first method consists in sequential approximation of the efficiency isolines by curves according to the equation given in the polar coordinate system. The approximation equation is

derived from the improved ellipse equation. The approximation is carried out by selecting 6 statistical coefficients. This method has significant drawbacks: the possibility of mutual intersection of the approximated isolines of the efficiency, the complexity in the interpolation of values.

In the second method, it is proposed to approximate the efficiency isolines of the compressor characteristics by ellipses. In this case, the approximation is carried out for one initial isoline of the efficiency, and the subsequent ones are determined on its basis using the correction factors (expansion and displacement of the center of the original ellipse). This approximation equation includes a dependence on the efficiency, which makes it possible to carry out the approximation not discretely (for each individual isoline), but for the entire characteristic. Thus, this method avoids all the disadvantages of the previous method, but it should be recognized, at the expense of a decrease in the quality of the approximation.

The approximation of the pressure branches of the compressor characteristics was also carried out in a polar coordinate system. This made it possible to get rid of the need to choose a very small step when approximating by polynomials in the air flow rate through the compressor at modes close to locking, and at high modes - in the entire range of values.

The root-mean-square deviation of the obtained approximations of the efficiency isolines for both methods was less than 10%, which indicates the acceptable quality of the approximations. For the pressure lines, the standard deviation was less than 3%.

Проектирование охлаждаемого диска турбины для двигателя малой мощности с применением аддитивных технологий

Агапов А.В., Ионов А.В., Кашцев И.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе рассматривается проектирование охлаждаемого диска турбины типа блиск для двигателя с тягой 120Н, разрабатываемого в Московском авиационном институте на кафедре 205. Было решено изготавливать турбину с помощью аддитивных методов производства, что позволило сделать более сложную геометрию, невозможную для производства традиционными методами. Но при этом аддитивные технологии накладывают дополнительные технологические ограничения, которые необходимо учитывать при проектировании.

С каждым годом доля аддитивного производства в авиационной промышленности увеличивается, но все равно остается незначительной. В настоящее время печать используют в основном в опытно-конструкторских работах для выращивания прототипов.

Аддитивные методы производства остаются достаточно дорогостоящими, поэтому отработку данных методов выгоднее проводить на простых и достаточно недорогих объектах, например, на двигателях малой мощности (до 600Н). Это будет обходиться гораздо дешевле, а также можно реализовывать сложные технические решения с меньшими потерями.

В ходе выполнения поставленной задачи были проведены следующие расчеты: термогазодинамический расчет двигателя прототипа и двигателя с учетом охлаждения в программном комплексе Amesim; расчет спроектированной охлаждаемой турбины в программном комплексе Ansys CFX, из которого было получено распределение температур на диске и пере лопатки необходимое для прочностного расчета в программном комплексе Ansys Static Structure, а также была произведена оценка эффективности спроектированного охлаждения. Моделирование охлаждаемого диска турбины проводилось в программном комплексе Siemens NX. Помимо этого, была разработана конструкция рабочей зоны печати и подготовлена управляющая программа выращивания в нескольких программных комплексах (Ansys SpaceClaim, Siemens NX, Magics). Это было необходимо для изучения возможностей данных программ, их сравнения по функционалу и по предложенному оптимальному расположению детали в камере построения.

В настоящее время проводится компьютерное моделирование выращивания заготовки охлаждаемой турбины на 3D-принтере и непосредственно ее печать. Это необходимо для сравнения результатов печати с компьютерным моделированием данного процесса.

Моделирование процесса печати также будет проводиться в нескольких программных комплексах (Ansys Additive и MSC Simufact) для сравнения полученных результатов между собой и для изучения возможностей данных программ.

Designing of a cooled turbine disk for a low-power engine using additive technologies

Agapov A.V., Ionov A.V., Kashcheev I.S.

MAI, Moscow, Russia

The design of a cooled turbine disk for a 120N thrust engine being developed at the Moscow Aviation Institute at Department 205 is discussed in this paper. It was decided to manufacture the turbine using additive manufacturing methods, which made it possible to make a more complex geometry that is impossible to produce using traditional methods. But at the same time, additive technologies add some technological constraint that must be taken into account during designing.

The part of additive manufacturing in the aviation industry increases every year, but still remains insignificant. Currently 3D printing is used mainly in the research and test works for the production of prototypes.

Additive manufacturing methods remain quite expensive, so it is more profitable to adjust these methods on simple and inexpensive objects, for example, on low-power engines (up to 600N). This will be much cheaper, and you can also put into practice complex technical solutions at lower cost.

The following calculations was carried out during this work: thermodynamic calculation of the prototype engine and engine with active cooling in the software package Amesim; the calculation of the designed cooling turbine in Ansys CFX, where the temperature distribution on disk and blade airfoil was obtained that required for strength calculation in Ansys Static Structure, also evaluated the effectiveness of the cooling. 3D-modeling of the cooled turbine disk was performed in software package Siemens NX. In addition, the design of the 3D-print working area was developed and the control program for manufacturing process was prepared in several software complexes (Ansys SpaceClaim, Siemens NX, Magics). This was necessary to find out the capabilities of these software packages, compare them by functionality and by the optimal location of the part in the construction-printing chamber.

Computer simulation of the manufacturing of turbine part and 3D printing of the part itself is carried out at present. This is necessary to compare the 3D print results with computer simulations of the process. Simulation of process is also carried out in two software packages (Ansys Additive and MSC Simufact) to compare the obtained results to find out the capabilities of these programs.

Разработка интегрированной базы данных комплектующих элементов топливоизмерительной автоматик авиационных ГТД

Алдобаева О.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Топливоизмерительная система сложна по своему функционалу и конфигурации, в ее состав входят как сложные датчики, насосы и агрегаты, так и типовые электрические составляющие отвечающие за выдачу корректной информации по уровню топлива в баках. Так как система отвечает за работоспособность двигателей, подачу топлива и поддержание заданного темпа выработки, то необходимо, чтобы все элементы четко выполняли свои функции и не нарушали работоспособность силовой установки. Для этого необходимо знать, как будет работать каждый компонент в каких условиях и сочетаниях.

База данных (БД) – структурная совокупность данных, поддерживаемая в актуальном состоянии для конкретной предметной области.

Для создания базы данных потребовалось проанализировать данные, и решить какие из них войдут в таблицы. С этой целью были созданы таблицы в среде Excel. Основными параметрами для поиска элементов были выбраны: наименование, описание, технические условия (ТУ). Следующий шаг – перенос таблицы в программу Microsoft Access – реляционную систему управления базами данных. Создается основная таблица, где указаны параметры, позволяющие выбрать требующийся элемент или группу элементов. Пользователь этой базы сможет быстро найти необходимое ТУ к любому элементу, внося в строку поиска наименование или описание элемента.

Эта база описывает все элементы ТС и ТИС, но эти системы также завязаны со многими другими системами самолета. В частности, с системой, отвечающей за электроснабжение самолета, за которую отвечает отдел электрооборудования.

Рассмотрим добавление элементов электроснабжения самолета, связанные с системами ТС и ТИС. Новые данные позволят производить смежные работы отдела силовых установок (СУ) и отдела электроснабжения в более короткие сроки. Наличие в БД информации по электроснабжению позволит снизить трудоемкость работы при сверке, проверке и утверждении новой конструкторской документации. Также это дает возможность быстрого анализа для таких задач как: вывод новых сигналов, замена соединителей, замена оборудования. Взаимодействие отделов с помощью новой БД на позволит:

- 1) привести к удобному единообразному виду информацию по электроавтоматике ТИС и электрооборудованию;
- 2) ускорить поиск нужных элементов и их характеристик;
- 3) сравнить однотипные элементы;
- 4) ускорить процесс создания новых схем и внесения изменений в уже существующие;
- 5) обучить специалистов смежных профилей работы, адаптировать новых сотрудников к специфике работы.

Development of an integrated database of components for fuel metering automation of aircraft gas turbine engines

Aldobaeva O.S.

MAI, Moscow, Russia

The fuel measuring system is complex in its functionality and configuration; it includes both complex sensors, pumps and aggregates, as well as typical electrical components responsible for providing correct information on the fuel level in the tanks. Since the system is responsible for the performance of engines, fuel supply and maintenance of the set rate of production, it is necessary that all elements clearly perform their functions and do not interfere with the performance of the power plant. To do this, you need to know how each component will work under what conditions and combinations.

A database (DB) is a structured collection of data that is kept up – to-date for a specific subject area.

To create a DB, it was necessary to analyze the data and decide which of them will be included in the tables. For this purpose, tables were created in the Excel environment. The main parameters for searching for elements were selected: name, description, technical specifications. The next step is to transfer the table to Microsoft Access, a relational database management system. A main table is created with parameters that allow you to select the required element or group of elements. The user of this DB can quickly find the necessary ACCESS to any element by entering the name or description of the element in the search bar.

This DB describes all the elements of the FS and FMS, but these systems are also tied to many other aircraft systems. In particular, the system responsible for the power supply of the aircraft, which is responsible for the electrical equipment Department.

Consider adding aircraft power supply elements related to the FS and FMS systems. The new data will make it possible to perform related work of the power plant Department and the power supply Department in a shorter time. The availability of information on power supply in the DB will reduce the complexity of work during reconciliation, verification and approval of new design documentation. It also allows for quick analysis for tasks such as: output of new signals, replacement of connectors, replacement of equipment. Interaction of departments using the new DB on the site will allow:

- 1) bring to a convenient uniform view information on electrical automation FMS;
- 2) speed up the search for the necessary elements and their characteristics;
- 3) to compare elements of the same type;
- 4) speed up the process of creating new schemes;
- 5) adapt new employees to the specifics of the work.

Совершенствование математических моделей силовых установок сверхзвуковых гражданских самолетов с оценкой эффективных характеристик

Алендарь А.Д., Грунин А.Н., Силуянова М.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Работа направлена на расширение возможностей комплексной математической модели силовой установки (СУ) сверхзвукового гражданского самолета (СГС), включающей математическую модель (ММ) сверхзвукового плоского регулируемого трехступенчатого входного устройства внешнего сжатия (ВхУ), ММ газотурбинных двигателей различных схем, ММ регулируемых сопел типа Лавала и ММ кормовой части осесимметричной мотогондолы. В состав комплексной ММ дополнительно включены ММ двухступенчатого и одноступенчатого сверхзвуковых плоских ВхУ внешнего сжатия, а также ММ ВыхУ с центральным телом. Математические модели входных и выходных устройств обеспечивают расчет как внутренних, так и эффективных (с учетом внешнего аэродинамического сопротивления) характеристик.

Коэффициент восстановления полного давления в ВхУ рассчитывается с учетом потерь полного давления в скачках уплотнения (косых и прямом), а также потерь полного давления в дозвуковой части ВхУ. Расчет коэффициентов восстановления полного давления в дозвуковом диффузоре и канале между горлом и входным сечением двигателя производится по полуэмпирическим методикам, учитывающим влияние геометрических характеристик канала и приведенной скорости тока. Коэффициент внешнего аэродинамического сопротивления ВхУ складывается из коэффициента сопротивления обечайки и коэффициента сопротивления по жидкой линии тока.

Выполнена разработка ММ сопел с центральным телом трех схем: внешнего расширения, частично внутреннего расширения с сужающейся обечайкой и частично внутреннего расширения с расширяющейся обечайкой. Контур сопла рассчитывается из условия, что в его выходном сечении реактивная струя расширилась до атмосферного давления и направлена по оси сопла. Образующая центрального тела представляет собой кривую второго порядка. У сопел с частично внутренним расширением предварительное расширение осуществляется в пределах обечайки в волне разрежения с фокусом в критической точке центрального тела. Математические модели позволяют рассчитывать тягу сопел с учетом потерь на трение, потерь на укорочение центрального тела относительно расчетного контура, а также потерь на конусность и нерасчетность течения. Для оценки внешнего аэродинамического сопротивления сопел с центральным телом применяется ММ кормовой части мотогондолы, которая представляет собой наружную поверхность усеченного конуса. Математическая модель позволяет учесть внешнее аэродинамическое сопротивление обечайки, при этом донное сопротивление центрального тела на учитывается.

Improvement of mathematical models of supersonic civil aircraft propulsion systems with effective characteristics evaluation

Alendar A.D., Grunin A.N., Siluyanova M.V.
MAI, Moscow, Russia

The work is aimed at empowering complex mathematical model of propulsion system (PS) of a supersonic civil aircraft (SCA), which includes mathematical model (MM) of supersonic flat variable-geometry three-stage intake device of external compression (SID), MM of gas turbine engines of different schemes, MM of variable-geometry nozzle and MM of axisymmetric nacelle tail. The complex MM additionally includes MM of two-stage and single-stage supersonic flat external compression SIDs, as well as MM of plug nozzles. Mathematical models of intake devices and nozzles provide calculation of both internal and effective (taking into account external aerodynamic drag) characteristics.

The coefficient of the total pressure recovery in the SID is calculated taking into account the total pressure losses in the shocks (both diagonal and normal), as well as the total pressure losses in the subsonic duct. The pressure recovery in the subsonic diffuser and in the throat-engine channel section are calculated using semi-empirical methods that take into account the influence of the

channel's geometric characteristics and the flow velocity. The coefficient of external aerodynamic drag is made up of the shell drag coefficient and the liquid line drag coefficient.

The development of plug nozzles MM of three schemes was performed: external expansion, partially internal expansion with a convergent shell, and partially internal expansion with an divergent shell. The nozzle contour is calculated from the condition that the jet has expanded to atmospheric pressure in its exit section and is directed along the nozzle axis. For nozzles with partially internal expansion, pre-expansion is carried out within the shell in a rarefaction wave with a focus at the critical point of the central body. Mathematical models allow us to calculate the nozzle thrust taking into account friction losses, losses for shortening the central body, as well as losses for taper and off-design flow regimes. To assess the external aerodynamic drag of the nozzles with a central body, the MM of the tail part of the engine nacelle, which is the outer surface of a truncated cone, is used. The mathematical model allows to take into account the external aerodynamic drag of the shell, while the bottom drag of the central body is not taken into account.

Создание динамической модели малоразмерного ГТД со стартером

Алпатов И.В., Боровиков Д.А., Тезиков С.Е.

МАИ, г. Москва, Россия

Уровень развития авиационно-космической техники требует все более глубокой проработки математических моделей, использующихся на этапе проектирования. При этом уровень вычислительных мощностей все еще не достаточен для моделирования сложных систем в полном 3Д в особенности при моделировании нестационарных процессов. Частично решить эту задачу позволяют современные инструменты математического моделирования. С их помощью можно комбинировать 3Д, 2Д и 1Д расчеты и создавать модели сложных мультидисциплинарных динамических систем.

В качестве примера такой системы может выступать малоразмерный ГТД, а решаемой такой моделью задачей – обеспечение стабильного запуска в различных условиях. Первым этапом подготовки модели является определение ее параметров. Характеристики основных узлов могут быть получены как в результате натурных, так и виртуальных испытаний. В программном комплексе ANSYS CFX были проведены газодинамические расчёты основных узлов малоразмерного ГТД, необходимые для построения динамической модели запуска. В ходе расчетов были получены характеристики компрессора, турбины и камеры сгорания, а также входного устройства и реактивного сопла.

На базе полученных характеристик была построена 1Д модель двигателя в программном комплексе Amesim. Построенная модель учитывает инерционность роторов, влияние стартера на динамические характеристики, а также допускает возникновение нестационарных эффектов по тракту двигателя.

Алгоритм запуска двигателя включал в себя раскрутку двигателя электромотором без подачи топлива, подачу топлива в камеру сгорания, отсоединение муфты электродвигателя от ротора ГТД при достижении определенных оборотов и последующую раскрутку ротора турбиной.

Подобная модель позволяет оптимизировать как параметры самого двигателя, так и алгоритмы управления, в частности подачи топлива в камеру сгорания и мощности на электромотор, в качестве критериев оптимальности при этом могут выступать различные параметры переходных процессов, в том числе время запуска, стабильность запуска с учетом внешних условий или отсутствие забросов температуры и оборотов выше ограничения.

Такой подход к созданию математической модели позволяет с высокой точностью моделировать и оптимизировать переходные процессы в силовой установке в широком диапазоне. Возможности модели демонстрируются на примере процесса запуска т.к. этот процесс требует мультидисциплинарного подхода и работоспособности модели в наиболее широком диапазоне режимов работы двигателя.

Small-sized GTE with a start system dynamic model design

Alpatov I.V., Borovikov D.A., Tezikov S.E.

MAI, Moscow, Russia

Current level of aerospace technology requires more and more complicated mathematical models to be used during engine design. At the same time, available computing power is still not sufficient for modeling complex systems in 3D and transient processes. This problem can be partially solved by modern mathematical modeling tools. Such systems can combine 3D, 2D and 1D calculations and simulate complex multidisciplinary dynamic systems behavior.

Small-sized gas turbine engine is an example of such a system, to ensure a stable engine start during different flight phases and environment conditions is an example of problem that requires a multidisciplinary dynamic mathematical model. The first step is to determine model parameters. Main engine parts characteristics could be obtained as a result of the experiments or virtual experiments.

By 3D calculations with ANSYS CFX, the compressor and turbine performance maps as well as combustion chamber, inlet device and jet nozzle characteristics are obtained. The performance maps and characteristics are used to design a 1D engine model in the Amesim software. The model takes inertia of the rotors, influence of the starter and transient effects along the engine flow path into account.

The engine starting algorithm included 4 stages. During first stage rotor RPM is increasing by an electric motor without fuel supply. Second stage is a fuel supply to the combustion chamber. Third stage is a disconnection of the electric motor clutch from the GTE rotor when a certain RPM is achieved, and the last stage is a regular acceleration from "idle" to "full thrust".

Such model makes it possible to optimize both the parameters of the engine itself and the control system, in particular fuel and electrical power supply algorithms during engine start; in this case, various parameters of transient processes can act as optimality criteria, including the engine start time, start stability, or overshoot of temperature and RPM above the limit taking into account various external conditions.

This approach to the mathematical model design allows high-precious modeling and optimization of transient processes in gas turbine engines in a wide range. Engine start process is chosen for demonstration of the model capabilities due to its requirements for a multidisciplinary approach and the model stability in the wide range of internal and external conditions.

Анализ влияния геометрических параметров на работу лабиринтных уплотнений

Андросович И.В., Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из способов повышения эффективности современных газотурбинных двигателей является повышение КПД его узлов. Увеличение КПД многих узлов ГТД можно достичь за счет снижения паразитных утечек воздуха благодаря использованию уплотнений [1]. Добиться снижения расхода воздуха через уплотнение в том числе на нерасчетных режимах работы можно за счет использования современных методов численного моделирования.

Для определения геометрии лабиринтного уплотнения было введено 6 непрерывных параметров (описывающих форму гребня) и 1 дискретный параметр (количество гребней). Анализ на сходимость по сетке показал необходимость использования расчетной сетки с не менее чем 8 элементами в канале уплотнения, а также построение призматического поделоя, не допускающего использования пристеночной функции.

Для ускорения расчета рассматривался сектор уплотнения. В качестве граничных условий использовалось условие открытой границы с заданным давлением. Дополнительный анализ показал, что в случае расчета сектора условие вращающейся периодики более точное, но менее устойчивое при многократном перестроении геометрии и расчетной сетки в широких пределах, чем условие стенки с проскальзыванием.

Анализ чувствительности показал, что при неизменном радиальном зазоре наиболее эффективны острые гребни. Влияние формы вершин на расход составляет до 2,5%. Радиус скругления у основания гребня не влияет на расход и может выбираться исходя из

технологических соображений. Влияние высоты на расход более 6%. Пологие гребни эффективнее снижают расход через уплотнение. Со стороны высокого давления оптимально выбирать угол 110-120°, что может давать снижение расхода до 2%. Со стороны низкого давления оптимально значение более 120-130°, что может приводить к снижению расхода более 10%.

В результате оптимизации была получена конфигурация лабиринтного уплотнения, позволяющая добиться 20% снижения расхода воздуха через уплотнение. Сравнение расходных характеристик исходного и оптимизированного уплотнений показало, что оптимизированное уплотнение обеспечивает меньший расход воздуха в широком диапазоне перепадов давления.

Полученные результаты позволяют сделать вывод об эффективности оптимизации лабиринтных уплотнений для снижения утечек воздуха.

Литература:

1. Фалалеев С.В. Проблемы и перспективы использования торцовых уплотнений с газовой смазкой в современных ГТД //В сборнике: Проблемы и перспективы развития двигателестроения Сер. "Вестник СГАУ", Самара, 2000. С. 91-98.

Analysis of the geometric parameters influence on the labyrinth seals performance

Androsovich I.V., Siluyanov M.V.

MAI, Moscow, Russia

One of the ways to improve the efficiency of modern gas turbine engines is to increase the efficiency of its units. An increase in the efficiency of many GTE units can be achieved by reducing parasitic air leaks through the use of seals [1]. It is possible to achieve a reduction in air consumption through the seal, including in off-design operating modes, by using modern methods of numerical modeling.

To determine the geometry of the labyrinth seal, 6 continuous parameters and 1 discrete parameter were introduced. The mesh convergence analysis showed the need to use a computational mesh with at least 8 elements in the seal channel, as well as the construction of a prismatic sublayer that does not allow the use of the wall function.

To speed up the calculation, the compaction sector was calculated. The condition of an open boundary with a given pressure was used as the boundary conditions. Additional analysis showed that in the case of calculating a sector, the condition of a rotating period is more accurate, but less stable with multiple rebuilding of the geometry and the computational grid over a wide range than the condition of the wall with slippage. In the case of little or no influence of the circumferential velocity component, it is preferable to use the wall slip condition.

The influence of the shape of the tops on the flow rate is up to 2.5%. The rounding radius at the base of the ridge does not affect the flow rate and can be selected based on technological considerations. Influence of height on flow rate is more than 6%. Shallow ridges are more effective in reducing seal flow. On the high-pressure side, it is optimal to choose an angle of 110-120°, which can reduce the flow rate up to 2%. On the low-pressure side, the optimal value is more than 120-130°, which can lead to a decrease in flow rate of more than 10%. The addition of a ridge has a significant effect on compaction performance up to 10%.

Optimization resulted in a labyrinth seal configuration that achieves a 20% reduction in seal airflow.

A comparison of the flow characteristics of the original and the optimized seal showed that the optimized seal provides lower airflow over a wide range of pressure drops.

The results obtained lead to the conclusion about the effectiveness of optimizing labyrinth seals to reduce air leaks.

References:

1. Falaleev S. Problemy i perspective ispolzovaniya torcovih uplotneniy s gazovoi smazkoi v sovremennih GTD p 91-98.

Исследование параметров и конструктивных особенностей рекуператоров ТВД и ТВдД сложного цикла

Ардатов К.В., Нестеренко В.Г.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваются численные величины снижения удельного расхода топлива и конструктивные особенности компоновки и параметров авиационных ГТД, выбираемые при установке трубчатых рекуператоров в их выхлопную систему. Проведенное расчётное исследование показало, что трубчатые рекуператоры имеют необходимый уровень надёжности, приемлемые массовые характеристики и габариты, которые позволяют им эффективно повышать топливную экономичность авиационной силовой установки сложного цикла. На первом этапе этой работы было выполнено расчётное исследование экономичности ГТД при изменении их термодинамических параметров: степени сжатия компрессора в диапазоне величин $\pi_k=6,6-16,0$; степени рекуперации $\Theta=0,4-0,67$; максимальной температуры газа перед турбиной 1230-1500 К.

Их максимальная экономичность имеет место при наиболее низких величинах степени сжатия в компрессоре и наиболее высоких температурах газа перед турбиной диапазонов, указанных выше. Примером выбора эффективных термодинамических параметров рекуператора авиационного ГТД является ТВД АЛ-34 В этом двигателе степень сжатия компрессора в одноступенчатом ЦБК равна 4,0, а максимальная

температура газа перед турбиной не высока и равна 1500 К. Компоновка и сама конструкция рекуператора детально прорабатывалась. Как известно, в различных ГТД выхлоп газа может быть кольцевой, через локальные индивидуальные патрубки, ориентированные на одну или разные стороны от двигателя, а также в его центральной части, как это выполнено в ТВдД ГТД 350. Поэтому габаритные размеры и сами конструкции рекуператоров могут и должны отличаться, исходя из особенностей конструкции самого ГТД. В процессе проведенных исследований были выполнены расчёты в системе ANSYS: оценено количество трубок в одном модуле, длина одной трубки и уровни повышения температуры закомпрессорного воздуха в гладких трубках, при изменении их диаметра в пределах 3,0 ... 6,0 мм и малой толщины 0,15 мм, а также при наличии турбулизаторов различной конфигурации и высоты, расположенных внутри трубок и на их наружном диаметре. Разработаны конструктивные рекомендации по проектированию воздушной системы отвода от компрессора подогреваемого воздуха, подвода его к трубкам рекуператора и обратно, и на вход в камеру сгорания. Сформулированы численные ограничения массы рекуператора, в зависимости от массы исходного ГТД.

Research of parameters and design features of TVD and Tvld recuperators of a complex cycle

Ardatov K.V., Nesterenko V.G.
MAI, Moscow, Russia

Numerical values of reduction in specific fuel consumption and design features of the layout and parameters of aircraft gas turbine engines selected when installing tubular heat exchangers in their exhaust system are considered. The calculated study showed that tubular heat exchangers have the necessary level of reliability, acceptable mass characteristics and dimensions, which allow them to effectively increase the fuel efficiency of an aircraft power plant of a complex cycle. At the first stage of this work, a calculated study of the efficiency of gas turbine engines with changes in their thermodynamic parameters was performed: the compression ratio of the compressor in the range of values $\pi_k = 6.6-16.0$; the degree of recovery $\Theta = 0.4-0.67$; the maximum gas temperature in front of the turbine is 1230-1500 K. Their maximum efficiency occurs at the lowest values of the compression ratio in the compressor and the highest gas temperatures in front of the turbine in the ranges indicated above. An example of choosing the effective thermodynamic parameters of an aviation gas turbine recuperator is the AL-34 TPE. In this engine, the compression ratio of the compressor in a single-stage centrifugal compressor wheel is 4.0, and the maximum gas temperature in front of the turbine is not high and is equal to 1500 K. As is known, in various gas

turbine engines, the gas exhaust can be annular, through local individual pipes oriented to one or different sides of the engine, as well as in its central part, as is done in the TShE, GTE 350. Therefore, the overall dimensions and design of recuperators themselves can and should differ, based on the design features of the gas turbine engine itself. In the course of the research, calculations were performed in the ANSYS system: the number of tubes in one module, the length of one tube, and the levels of temperature increase for compressor air in smooth tubes, with a change in their diameter within 3 ... 6 mm and a small thickness of 0.15 mm, as well as in the presence of turbulators of various configurations and heights located inside the tubes and on their outer diameter. In conclusion, the study provides constructive recommendations for the design of an air system for removing heated air from the compressor, supplying it to the recuperator tubes and back, and entering the combustion chamber. Numerical restrictions on the mass of the recuperator, depending on the mass of the initial gas turbine engine, are formulated.

Нестационарные эффекты при проектировании современных авиационных двигателей

Асланов А.Р., Краев В.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Криогенное топливо в авиации имеет ряд особенностей по сравнению с авиационным керосином. Криогенное топливо, имеет большой хладоресурс и работоспособность до его сжигания, а также большую теплоту сгорания чем у керосина. Наиболее перспективным криогенным топливом является сжиженный природный газ (далее – СПГ), состоящий в основном из метана.

Криогенная топливная система (КТС) состоит из криогенного топливного бака, подкачивающего насоса, турбонасосного агрегата и теплообменного аппарата (ТА) газификатора.

Для проведения расчетно-теоретических исследований разработана математическая модель криогенной топливной системы. Основными параметрами являются: давление, температура, объемный расход, гидравлические потери, а также рассчитывается масса каждого элемента.

Переходные режимы полета, например, руление-взлет, длятся от нескольких долей секунд до нескольких секунд. Такие режимы с точки зрения тепловых и гидродинамических процессов являются существенно нестационарными. Применение т.н. квазистационарного подхода, когда коэффициент теплоотдачи и гидродинамического сопротивления рассчитываются по мгновенным параметрам, может привести к ошибке в расчетах более 100%. Эксперименты показывают, что при смене режима работы двигателя, т.е. массового расхода жидкого топлива, могут возникать кратковременные скачки по теплоотдаче и гидравлическим сопротивлениям из-за изменения турбулентной структуры течения.

В работе получены результаты, показывающие существенный рост коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления в момент вывода двигателя на взлетный режим. Причиной такого изменения является перестройка структуры турбулентного течения в гидродинамически нестационарных условиях. Коэффициент теплоотдачи может превышать значения, рассчитанные по стационарным зависимостям более 2-х раз, а коэффициент гидравлического сопротивления – более 3-х раз. Указанное отличие приводит к существенным нарушениям работы всей криогенной топливной системы, и может привести к отказам в работе.

Результаты расчетов показывают границы применимости квазистационарного подхода в зависимости от времени срабатывания топливной арматуры и диаметра топливных магистралей. В качестве решения авторы предлагают при нестационарных процессах продолжительностью менее 5 сек применять трубопроводы наименьшего диаметра и/или увеличивать мощность подкачивающих насосов.

Unsteady effects in modern aircraft engines

Aslanov A.R., Kraev V.M.

MAI, Moscow, Russia

Cryogenic fuel in aviation has a number of features in comparison with aviation kerosene. Cryogenic fuel has a large engine life and performance before its combustion, as well as a greater heat of combustion than kerosene. The most promising cryogenic fuel is liquefied natural gas (hereinafter-LNG), consisting mainly of methane.

A cryogenic fuel system (CFS) consists of a cryogenic fuel tank, a booster pump, a turbopump unit, and a gasifier heat exchanger (HE).

A mathematical model of a cryogenic fuel system has been developed for carrying out computational and theoretical research. The main parameters are: pressure, temperature, volume flow, hydraulic losses, and the mass of each element is calculated.

Transient flight modes, such as taxiing-takeoff, last from a few fractions of seconds to a few seconds. Such regimes are essentially non-stationary from the point of view of thermal and hydrodynamic processes. The use of the so-called quasi-stationary approach, when the heat transfer coefficient and hydrodynamic resistance are calculated by instantaneous parameters, can lead to an error in the calculations of more than 100%. Experiments show that when changing the mode of operation of the engine, and so on the mass flow of liquid fuel, short-term jumps in heat transfer and hydraulic resistances may occur due to changes in the turbulent flow structure.

The results obtained show a significant increase in the coefficients of heat transfer and hydraulic resistance at the time of the engine output to take-off mode. The reason for this change is the restructuring of the turbulent flow structure in hydrodynamically unsteady conditions. The heat transfer coefficient may exceed the values calculated from the stationary dependencies more than 2 times, and the coefficient of hydraulic resistance-more than 3 times. This difference leads to significant disruption of the entire cryogenic fuel system, and can lead to failures in operation.

The results of calculations show the limits of applicability of the quasi-stationary approach depending on the response time of the fuel valves and the diameter of the fuel lines. As a solution, the authors suggest that for non-stationary processes lasting less than 5 seconds, use pipelines of the smallest diameter and / or increase the power of pumping pumps.

Влияние формы золотниковых отверстий регулятора расхода на статические и динамические характеристики

Аунг К.М., Коломенцев А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Регулятор расхода жидкости – один из основных агрегатов любой схемы ЖРД. Регуляторы расхода предназначены для поддержания расхода компонента топлива с заданной точностью или изменения, по определенной программе, основных параметров ЖРД в условиях изменения внешних и (или) внутренних возмущающих факторов.

Как исполнительный орган системы управления тягой двигателя они используются в современных многорежимных двигателях, например, РД253, РД120, РД170, РД180, РД191.

Регуляторы расхода, применяемые в ЖРД, разделяются на две группы: регуляторы прямого и непрямого действий.

Разработана математическая модель усовершенствованной конструкции регулятора тяги прямого действия для ЖРД с дожиганием окислительного газа.

Показано влияние формы проходного сечения золотниковых отверстий при их различных формах (круглое отверстие, прямоугольное, треугольное и др.) на статические и динамические характеристики регулятора.

Приведено изменение проходной площади золотниковых отверстий от перемещения золотника при различной форме отверстий.

Выявлено, что регуляторы с золотниковыми отверстиями треугольной либо профилированной (например, параболической) формами имеют более широкий диапазон поддержания расхода жидкости с заданной точностью.

Показано, что при треугольной форме золотниковых отверстий диапазон перепада давления, в котором расходная и нагрузочная характеристики имеют положительный статизм, значительно шире по сравнению с круглыми и прямоугольными отверстиями.

На основании полученных результатов даны рекомендации по модернизации регуляторов расхода, например, для двигателей семейства РД-170.

Influence of the shape of the spool holes of the flow controller on static and dynamic characteristics

Aung K.M., Kolomentsev A.I.

MAI, Moscow, Russia

The liquid flow regulator is one of the main units of any LRE scheme. Flow regulators are designed to maintain the flow rate of a fuel component with a given accuracy or change, according to a certain program, the main parameters of the LRE in conditions of changes in external and (or) internal disturbing factors.

As the Executive body of the engine traction control system, they are used in modern multi-mode engines, for example, RD253, RD120, RD170, RD180, RD191.

Flow regulators used in LRE are divided into two groups: direct and indirect action regulators.

A mathematical model of an improved design of a direct-acting thrust regulator for an afterburning liquid-propellant rocket engine has been developed.

The influence of the shape of the through section of the spool holes with their various shapes (round hole, rectangular, triangular, etc.) on the static and dynamic characteristics of the regulator is shown.

The change in the passage area of the spool holes from the movement of the spool with different hole shapes is given.

It is revealed that regulators with spool holes of triangular or profiled (for example, parabolic) shapes have a wider range of maintaining the fluid flow with a given accuracy.

It is shown that when the spool holes are triangular in shape, the range of pressure drop in which the flow and load characteristics have positive statics is much wider compared to round and rectangular holes.

Based on the results obtained, recommendations are given for the modernization of flow regulators, for example, for engines of the RD-170 family.

Моделирование процессов смесеобразования пары водород-кислород в смесительных элементах различных конструкций

Башарина Т.А., Гончаров М.Г., Свиридов И.Э., Шматов Д.П., Рачук В.С.

ВГТУ, г. Воронеж, Россия

Растущие энергетические потребности человечества обуславливают ежедневный труд по совершенствованию добычи, транспортировки, хранения и распределения его энергетических ресурсов. Помимо очевидных негативных экологических аспектов, традиционные углеводородные источники сырья имеют гораздо более существенный недостаток – ограниченность запасов. Существующие альтернативные источники энергии напрямую зависят от внешней среды, поэтому энергогенерация в них аperiodична и нестабильна. Изменить ситуацию способно внедрение водородного преобразовательного цикла, сглаживающего пики генерации и потребления. Водородное топливо, сжигаемое в различных энергопреобразующих устройствах, требует обеспечения качественного смесеобразования компонентов, которое осуществляется в специальных смесительных элементах. Одной из основных задач при создании таких устройств является обеспечение высокой полноты сгорания и минимального содержания неконденсирующихся газов на выходе. Именно эта задача и является предметом и целью настоящего исследования.

Проведена разработка математической модели процессов смесеобразования с использованием расчетного комплекса вычислительной гидродинамики ANSYS Fluent. Данная модель включает в себя уравнения движения сплошной среды, уравнения турбулентности, уравнение энергии и замыкающие соотношения для многокомпонентного течения. Конечно-элементная модель расчетной области состоит из 4368962 элементов и

8944754 узлов. Моделирование производилось для пяти различных образцов смесительных элементов, конструктивно отличающихся друг от друга. Результаты предварительного математического моделирования показали, что наиболее плавное изменение массовых концентраций осуществляется в струйно-струйной форсунке с тангенциальной камерой поджига. Нарастание концентрации происходит без скачков и с малым градиентом. Расчетное статическое давление на входе составило 26,7 атм. Полученные результаты указывают на качественное смесеобразование водородно-кислородной газовой смеси.

Результаты математического моделирования были подтверждены экспериментальными данными, полученными в ходе испытаний опытных образцов смесительных элементов. Изготовленные для таких целей образцы прошли цикл испытаний на газодинамическом стенде ВГТУ.ФЦП-001.000.00. Данные наглядно демонстрируют, что выбранный нами способ математического моделирования наиболее точно описывает процессы, происходящие именно в образце №1 шифр ВГТУ.1.19-001.001.00.

Investigation of processes of mixture formation of a hydrogen-oxygen pair in mixing elements of various designs

Basharina T.A., Goncharov M.G., Sviridov I.E., Shmatov D.P., Rachuk V.S.
VSTU, Voronezh, Russia

The growing energy needs of mankind determine the daily work to improve the extraction, transportation, storage and distribution of its energy resources. In addition to the obvious negative environmental aspects, traditional hydrocarbon sources of raw materials have a much more significant drawback – limited reserves. The existing alternative energy sources are directly dependent on the external environment, therefore, energy generation in them is aperiodic and unstable. The situation can be changed by the inculcation of a hydrogen conversion cycle, which smooths out the peaks of generation and consumption. Hydrogen fuel combusted in various energy-converting devices requires high-quality mixing of components, which is carried out in special mixing elements. One of the main tasks in the development of such devices is to ensure high combustion efficiency and a minimum content of non-condensable gases in the exhaust. It is this task that is the subject and purpose of this study.

The development of a mathematical model of the processes of mixture formation using the computational complex of computational fluid dynamics ANSYS Fluent. This model includes equations of motion of a continuous medium, equations of turbulence, energy equation, and closing relations for multicomponent flow. The finite element model of the computational domain consists of 4368962 elements and 8944754 nodes. The simulation was carried out for five different samples of mixing elements, structurally different from each other. The results of preliminary mathematical modeling showed that the smoothest change in mass concentrations is carried out in a jet-jet nozzle with a tangential ignition chamber. The increase in concentration occurs without jumps and with a small gradient. The design static inlet pressure was 26.7 atm. The results obtained indicate a qualitative mixture formation of a hydrogen-oxygen gas mixture.

The results of mathematical modeling were supported by experimental data obtained during testing of prototypes of mixing elements. The samples made for such purposes have passed a cycle of tests at the gas-dynamic stand of VSTU.FTP-001.000.00. The data clearly demonstrate that the method of mathematical modeling we have chosen most accurately describes the processes occurring precisely in sample No. 1 code VSTU.1.19-001.001.00.

Контроль функционирования жидкостного ракетного двигателя, основанный на математической модели рабочих процессов

Беляева Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Функциональная диагностика включает в себя теорию и методы выявления места (локализации) возникновения возможных неисправностей. Общее понятие «неисправность» может быть детализировано путем указания конкретных дефектов, нарушающих исправность, работоспособность или правильность функционирования. Принципиально важная особенность, присущая любой неисправности – это нарушение заранее

установленной взаимосвязи между параметрами, соответствующей нормальному функционированию.

Основная цель функциональной диагностики – повышение надежности и ресурса двигателя. Двигатель разделяется на множество отдельных элементов, которые описываются уравнениями, связывающими параметры рабочего процесса. Множество уравнений составляет математическую модель (ММ) – систему уравнений, описывающих физические процессы в структурных элементах при нормальном их функционировании. Задачами технического диагностирования являются: контроль технического состояния; поиск места и определение причин отказа (неисправности); прогнозирование технического состояния.

Порог нечувствительности зависит от двух факторов: погрешности измерения контрольных параметров и погрешности расчетов по ММ, обусловленной принятыми допущениями, приводящих к ошибке диагноза. Это является большой проблемой эффективности функциональной диагностики.

Совершенствование (повышение эффективности) системы функциональной диагностики (СФД) жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), основанной на контроле отклонений измеренных медленноменяющихся параметров процессов от рассчитанных по математической модели исправно функционирующего двигателя, производится с целью определения, в режиме реального времени, возникновения и локализации развивающейся неисправности. Реализация СФД может быть осуществлена на основе существующей элементной базы – аппаратно-программном комплексе и компьютерной технике.

Monitoring the functioning of a liquid propellant rocket engine based on a mathematical model of work processes

Belyaeva N.V.

MAI, Moscow, Russia

Functional diagnostics includes the theory and methods of identifying the place (localization) of possible malfunctions. The general concept of "malfunction" can be detailed by specifying specific defects that impair serviceability, performance or correct functioning. A fundamentally important feature inherent in any malfunction is a violation of a predetermined relationship between parameters corresponding to normal operation.

The main goal of functional diagnostics is to increase the reliability and service life of the engine. The engine is divided into many separate elements, which are described by equations that link the parameters of the workflow. A set of equations constitutes a mathematical model (MM) – a system of equations describing physical processes in structural elements during their normal functioning. The tasks of technical diagnostics are: control of technical condition; search for a place and determination of the reasons for failure (malfunction); forecasting the technical condition.

The threshold of insensitivity depends on two factors: the error in measuring the control parameters and the error in calculating MM, due to the assumptions made in MM, leading to a diagnosis error. This is a big problem in the effectiveness of functional diagnostics.

Improvement (increase in efficiency) of the functional diagnostics system (SFD) of a liquid-propellant rocket engine (LRE), based on the control of the deviations of the measured slowly varying process parameters from those calculated according to the mathematical model of a properly functioning engine, is carried out in order to determine, in real time, the occurrence and localization of a developing malfunction. The implementation of SFD can be carried out on the basis of the existing element base – hardware and software complex and computer technology.

Тепловой расчет стенки камеры сгорания ракетного двигателя

Беляков А.Ю., Федоров Д.Ю., Сорокин В.А.

МКБ «Искра», г. Москва, Россия

В данной статье описана одномерная математическая модель теплообмена цилиндрической стенки, входящей в контакт с потоками газа с обеих сторон. В ее основе используется конечно-разностный метод. Основными входными параметрами для организации расчета являются диаметр стенки, количество слоев стенки, их материалы

толщины, режим теплонагружения стенки (давление, температура, скорость газовых потоков).

Тепловой процесс, проходящий в стенке, разделен на три части:

1. процесс теплоотдачи между продуктами сгорания в камере сгорания и внутренней поверхности стенки камеры сгорания;

2. процесс передачи тепла через стенку (теплопроводность);

3. процесс теплоотдачи между внешней поверхностью стенки камеры сгорания и воздушным потоком, обдувающим внешнюю поверхность стенки камеры сгорания.

На основе данной математической модели разработан прикладной программный комплекс, предназначенный для решения задач теплообмена стенки с граничными условиями 3 рода в нестационарной линейной постановке. Математическая часть программы реализована на серверном языке PHP (Hypertext Preprocessor), а интерфейсная пользовательская часть с помощью стандартизированного языка разметки документов HTML.

Было произведено сравнение результатов работы данного программного комплекса с результатами испытаний маршевого режима комбинированного ракетного двигателя (сравнение температуры внешней поверхности стенки полученной с помощью программного модуля с температурой внешней поверхности стенки, полученной в результате испытаний). Максимальное расхождение результатов составило 10,5%.

Thermal calculation of the wall of the combustion chamber of a rocket engine

Belyakov A. Yu., Fedorov D. Yu., Sorokin V. A.

MBDB "Iskra", Moscow, Russia

This article describes a one-dimensional mathematical model of heat transfer of a cylindrical wall in contact with gas flows from both sides. It is based on the finite-difference method. The main input parameters for the organization of the calculation are the wall diameter, the number of wall layers, their thickness materials, the wall heat loading mode (pressure, temperature, gas flow rate).

The thermal process in the wall is divided into three parts:

1. the process of heat transfer between the combustion products in the combustion chamber and the inner surface of the combustion chamber wall;

2. the process of heat transfer through the wall (thermal conductivity);

3. the process of heat transfer between the outer surface of the combustion chamber wall and the air flow blowing over the outer surface of the combustion chamber wall.

On the basis of this mathematical model, an applied software package was created, designed to solve problems of heat transfer of a wall with boundary conditions of the third kind in a non-stationary linear formulation. The mathematical part of the program is implemented in the server language PHP (Hypertext Preprocessor), and the front-end user part is implemented using the standardized HTML markup language.

The results of the operation of this software package were compared with the results of tests of the cruise mode of the combined rocket engine (comparison of the temperature of the outer surface of the wall obtained using the software module with the temperature of the outer surface of the wall obtained as a result of tests). The maximum discrepancy in the results was 10.5%.

Анализ результатов CFD-моделирования физических процессов в камерах сгорания ракетных двигателей малой тяги

Бляхарский С.С., Боровик И.Н., Строкач Е.А., Тюльков К.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Численное моделирование процессов в камерах сгорания ракетных двигателей малой тяги является сложной технической задачей, так как им свойственны высокая неравномерность течения, закрученные потоки, высокие градиенты величин. Для анализа таких процессов используют инструменты CFD-моделирования (программный комплекс ANSYS CFX), которые в общем случае позволяют моделировать процессы горения с формально любой степенью сложности за счет применения дополнительных моделей физических процессов.

В данной работе представлен анализ результатов численного моделирования процессов горения в ракетных двигателях малой тяги на примере тестового горелочного устройства,

разработанного в техническом университете Мюнхена. Изделие включает 7 коаксиальных форсунок, через которые подаются газообразные кислород и метан. Моделировался только сектор камеры сгорания с целью экономии вычислительных ресурсов. Исследовалось влияние турбулентных чисел Шмидта на распределение массовых долей в объеме устройства, а также на результирующие давления и тепловой поток в стенку. Для моделирования турбулентности использовалась модель рейнольдсовых напряжений BSL RSM, моделирования горения – модель Flamelet, свойства смеси рассчитывались на базе приближения идеального газа. Ставилась задача сравнения расчетных значений с экспериментальными данными, что показало их хорошее согласование. Кроме того, получено существенное влияние турбулентного течения как на распределение давлений, так и на тепловой поток в рассмотренной устройстве.

Analysis of the results of CFD-modeling of physical processes in the combustion chambers of low-thrust rocket engines

Blyakharsky S.S., Borovik I.N., Strokach E.A., Tyulkov K.V.
MAI, Moscow, Russia

Numerical modeling of the processes in the combustion chambers of low-thrust rocket engines is a complex technical problem, since they are characterized by high flow irregularities, swirling flows, and high value gradients. For the analysis of such processes, CFD modeling tools are used (ANSYS CFX software package), which in the general case make it possible to simulate combustion processes with formally any degree of complexity through the use of additional models of physical processes.

This paper presents an analysis of the results of numerical modeling of combustion processes in low-thrust rocket engines using the example of a test burner device developed at the Technical University of Munich. The product includes 7 coaxial nozzles through which oxygen and methane gases are supplied. Only the combustion chamber sector was modeled in order to save computing resources. The effect of turbulent Schmidt numbers on the distribution of mass fractions in the volume of the device, as well as on the resulting pressure and heat flux into the wall was investigated. To simulate turbulence, the Reynolds stress model BSL RSM was used, combustion was simulated using the Flamelet model, the properties of the mixture were calculated based on the ideal gas approximation. The problem was set to compare the calculated values with experimental data, which showed their good agreement. In addition, a significant effect of the turbulent flow on both the pressure distribution and the heat flow in the considered device was obtained.

Конструкция модели линейного двух щелевого сопла с внутренним дефлектором для измерения тяги и визуализации течения

¹Богданов В.Н., ²Хмелевский А.Н., ¹Григорьев А.А.

¹ОДК-УМПО, ²НИИ механики МГУ, г. Москва, Россия

Линейные двух щелевые сопла с внутренним дефлектором, как и соответствующие кольцевые сопла, в ряде режимов полета могут рассматриваться в качестве альтернативы традиционным соплам Лаваля в выходных устройствах авиационных двигателей. В заявленной модели соплового устройства (СУ) через две прямоугольные щели – критические сечения, расположенные друг против друга перпендикулярно к оси, во внутреннюю полость дефлектора подаются высокотемпературные продукты сгорания или энергонасыщенная активированная рабочая смесь, которая догорает и истекает в окружающее пространство. В работе рассмотрена конструкция плоской модели СУ с дефлектором и описаны её особенности, связанные с измерением тяги СУ и давления в потоке, а также с визуализацией картины истечения.

Проведение исследований по визуализации течения и тяговых характеристик в указанных соплах предполагается выполнять в импульсном аэродинамическом стенде. Время продувки заявленной модели СУ в требуемых режимах составляет 50-100 мс, а температура продуктов сгорания может превышать 3000 К. Для корректной регистрации изменения давления в потоке высокотемпературного газа и силы тяги СУ конструкция модели комплектовалась современными высокочастотными тензометрическими и пьезоэлектрическими датчиками.

Для исключения влияния прогрева корпуса датчиков давления на их показания в конструкции модели использовался монтаж датчиков с заглублением.

Для выполнения теневой съемки картины течения газа в СУ, как в сверхзвуковом потоке, так и в области дозвукового течения, на торцах плоской модели СУ установлены боковые смотровые окна, соосные окнам в приемном ресивере. Через указанные окна также можно осуществлять лучевую лазерную диагностику потока.

На основании ранее выполненных исследований разработана конструкторская модель линейного двух щелевого СУ, обеспечивающая возможность измерения тяги и давления газа в проточных каналах сопла, а также проведения визуализации картины течения методом Теллера.

Работа выполнена в соответствии с планом исследований НИИ механики МГУ в рамках сотрудничества с ОКБ им. А. Люльки при частичной финансовой поддержке гранта Минобрнауки России (договор №14.G39.31.0001 от 13.02.2017 г.) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-01-00883).

Design of a model of a linear two-slot nozzle with an internal deflector for measuring thrust and visualizing flow

¹Bogdanov V.N., ²Khmelevsky A.N., ¹Grigoriev A.A.

¹UEC-UMPO, ²MSU Institute of Mechanics, Moscow, Russia

Linear two-slot nozzles with an internal deflector, as well as the corresponding annular nozzles, in a number of flight modes can be considered as an alternative to traditional Laval nozzles in the output devices of aircraft engines. In the claimed model of the nozzle device (ND), through two rectangular slits – critical sections located opposite each other perpendicular to the axis, high-temperature combustion products or energy-saturated activated working mixture are fed into the internal cavity of the deflector, which burns out and flows into the surrounding space. The paper considers the design of a flat ND model with a deflector and describes its features related to the measurement of ND thrust and pressure in the flow, as well as the visualization of the flow pattern.

Studies on visualization of the flow and traction characteristics in these nozzles are supposed to be performed in a pulsed aerodynamic stand. The purge time of the claimed ND model in the required modes is 50-100 ms, and the temperature of the combustion products can exceed 3000 K. To correctly register changes in pressure in the high-temperature gas flow and the thrust force of the ND, the model design was equipped with modern high-frequency strain gauges and piezoelectric sensors. To exclude the influence of heating of the pressure sensor housing on their readings, the model design used the installation of sensors with a depth.

To perform a shadow picture of the flow of gas in the ND as in the supersonic flow and subsonic flow at the ends of the flat model ND installed side viewing windows, aligned windows in the waiting receiver. Through these windows, you can also perform beam laser diagnostics of the flow.

Based on previously performed research, a design model of a linear two-slot ND was developed, which provides the ability to measure the thrust and pressure of gas in the flow channels of the nozzle, as well as to visualize the flow pattern using the Tepler method.

The work was carried out in accordance with the research plan of the MSU Mechanics Research Institute in cooperation with the A. Lyulka Design Bureau with partial financial support from the grant of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement No. 14. G39.31.0001 dated 13.02.2017) and the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-01-00883).

Физические механизмы взаимодействия перезарядочной плазмы с радиационно-заряженной поверхностью диэлектрика

Валиуллин В.В., Надирадзе А.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

На космический аппарат (КА) в космическом пространстве воздействуют множество электрофизических факторов. Наиболее опасными факторами для функционирования КА

являются электризация и электроразрядная деградация, последний из которых оказывает наиболее существенное воздействие на внешние элементы аппарата.

Для КА с электроракетными двигателями (ЭРД) эти процессы усугубляются перезарядочной плазмой, генерируемой двигателем. При наличии плазмы вблизи радиационно-заряженной диэлектрической поверхности аппарата могут возникать поверхностные электростатические разряды, которые изменяют электрофизические свойства поверхности.

Считается, что механизм электроразрядной деградации внешних радиационно-заряженных элементов КА определяется бомбардировкой положительными ионами поверхностных элементов конструкции и последующей релаксацией накопленного заряда вторичной ион-электронной эмиссией. При этом интегральный коэффициент релаксации (отношением полного заряда ионов, бомбардирующих поверхность, к величине накопленного заряда) считается близким к единице. Данные экспериментальных исследований, проведенные по тематике электроразрядной деградации, косвенно подтверждают данное утверждение. Но в настоящее время детальных исследований динамики процессов взаимодействия низкотемпературной плазмы с радиационно-заряженной поверхностью не проводились.

Проведенные эксперименты показали не полную гипотезы о релаксации вторичной ион-электронной эмиссией, и что картина релаксации намного сложнее. Определить интегральный коэффициент релаксации в этом эксперименте оказалось практически невыполнимой задачей, вследствие сложности измерения потока ионов, вытягиваемых из плазмы на заряженную поверхность диэлектрика. Появилась необходимость построения математической модели для корректной интерпретации полученных данных и оценки величины коэффициента релаксации.

В данной работе предпринята попытка разработки упрощенной математической модели релаксации накопленного заряда под действием ионов низкотемпературной плазмы. Данная модель построена на основе модели, описывающей накопление отрицательного заряда в диэлектрике. Рассмотрены возможные физические механизмы рекомбинации накопленного заряда. Оценены вероятности реализации каждого механизма рекомбинации накопленного заряда.

Physical mechanisms of interaction of the recharge plasma with the radiation-charged dielectric surface

Valiullin V.V., Nadiradze A.B.

MAI, Moscow, Russia

A spacecraft in outer space is affected by many electrophysical factors. The most dangerous factors for the functioning of the spacecraft are electrification and electric-discharge degradation, the latter of which has the most significant impact on the external elements of the device.

For spacecraft with electric rocket engines, these processes are compounded by the recharging plasma generated by the engine. In the presence of plasma near the radiation-charged dielectric surface of the device, surface electrostatic discharges may occur, which change the electrophysical properties of the surface.

It is believed that the mechanism of electric discharge degradation of external radiation-charged elements of a spacecraft is determined by bombardment of surface elements with positive ions and subsequent relaxation of the accumulated charge by secondary ion-electron emission. In this case, the integral relaxation coefficient (the ratio of the total charge of the ions bombarding the surface to the value of the accumulated charge) is considered close to one. Data from experimental research conducted on the subject of electric-discharge degradation indirectly confirm this statement. But at present, detailed research of the dynamics of the interaction of low-temperature plasma with a radiation-charged surface have not been carried out.

Experiments have shown that the hypothesis of relaxation by secondary ion-electron emission is incomplete, and that the picture of relaxation is much more complex. Determining the integral relaxation coefficient in this experiment turned out to be an almost impossible task, due to the complexity of measuring the flow of ions extracted from the plasma to the charged surface of the

dielectric. There is a need to development a mathematical model for correct interpretation of the obtained data and estimation of the value of the relaxation coefficient.

In this paper, an attempt is made to develop a simplified mathematical model of the accumulated charge relaxation under the action of low-temperature plasma ions. This model is based on the model, which describes the accumulation of negative charge in the dielectric. Possible physical mechanisms of recombination of the accumulated charge are considered. The probabilities of realization of each mechanism of recombination of the accumulated charge are estimated.

Перспективные схемные решения безгазогенераторных кислородно-водородных жидкостных ракетных двигателей

Василевский Д.О., Беляков В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

На данный момент весьма перспективной задачей для безгенераторных двигателей является использование данных двигателей в качестве межорбитальных буксиров. Межорбитальный буксир предназначен для доставки полезного груза на геосинхронную орбиту с последующим возвращением на низкую околоземную орбиту, а также для выведения космических кораблей на межпланетные орбиты. Несмотря на относительную простоту, надежность, низкую стоимость межорбитальных буксиров с РДТТ, более перспективным считается корабль с ЖРД благодаря высоким энергетическим характеристикам и возможности осуществления многократного запуска, останова и регулирования уровня тяги в процессе работы двигателей.

В рамках исследования безгазогенераторных схем двигателя авторами разработана программа по увязке энергетических параметров безгазогенераторного ЖРД с учетом подогрева охладителя в рубашке камеры сгорания и использованием зависимостей изменения теплофизических свойств компонентов и их продуктов сгорания от давления и температуры. Данные модули позволяют оценить эффективность и определить оптимальную схему безгазогенераторного двигателя.

По результатам расчетов выявлено, что при тягах менее 60 кН классическая схема с охлаждением только горючим не применима из-за уменьшения количества рабочего тела для турбины. Также было определено, что при тягах более 130 кН, с учетом получаемой новой геометрии камеры сгорания, условие по обеспечению необходимой температуры газа на привод турбины не выполняется из-за увеличения количества охладителя, поступающего в рубашку охлаждения двигателя. Обеспечение необходимой температуры компонента, поступающего из тракта охлаждения на привод турбины в безгазогенераторных двигателях возможно путем применения схем охлаждения с перепуском. Данные схемы обеспечивают значительный теплосъем с двигателя в теплонапряженных местах.

Для достижения энергетического баланса двигателя с тягой менее 60 кН целесообразно применять схему с двухконтурным комбинированным охлаждением двигателя в виду достижения критических параметров охладителей на выходе из каждого контура рубашек охлаждения. Расчеты показывают, что применение комбинированной схемы охлаждения позволяет с одной стороны обеспечить надежность охлаждения стенок КС, с другой стороны обеспечить мощностной баланс ЖРД с возможностью необходимого регулирования двигателя. Возможность использования безгазогенераторной схемы для двигателей тяг менее 35 кН осуществима при охлаждении двигателя окислителем (кислородом).

Perspective circuit solutions of oxygen-hydrogen liquid rocket engine by expanded cycle

Vasilevskiy D.O., Belyakov V.A.

MAI, Moscow, Russia

At the moment, a very promising task for by expanded cycle engines is the use of these engines as interorbital tugs. The interorbital tug is designed to deliver a payload into geosynchronous orbit with subsequent return to low earth orbit, as well as to launch spacecraft into interplanetary orbits. Despite the relative simplicity, reliability, low cost of interorbital tugs with SFRE, the ship with LPRE is considered more promising due to the high energy characteristics and the possibility of multiple start, stop and adjust the level of thrust in the process of engine operation.

As part of the study of gas-free engine circuits, the authors developed a program to link the energy parameters of a gas-free LPRE taking into account the heating of the cooler in the combustion chamber jacket and using the dependences of changes in the thermophysical properties of components and their combustion products on pressure and temperature. These modules allow to evaluate the efficiency and determine the optimal scheme of a by expanded cycle engine.

According to the results of calculations, it was found that for thrusts less than 60 kN, the classical scheme with only fuel cooling is not applicable due to a decrease in the amount of working fluid for the turbine. It was also determined that for thrusts of more than 130 kN, taking into account the new geometry of the combustion chamber, the condition for ensuring the necessary gas temperature for the turbine drive is not met due to an increase in the amount of cooler entering the engine cooling jacket. Ensuring the required temperature of the component coming from the cooling path to the turbine drive in gas-free engines is possible by using bypass cooling schemes. These schemes provide significant heat removal from the engine in heat-stressed areas.

To achieve the energy balance of the engine with a thrust of less than 60 kN, it is advisable to use a scheme with a two-circuit combined cooling of the engine in view of achieving the critical parameters of the coolers at the outlet of each circuit of the cooling jackets. Calculations show that the use of combined circuit allows on the one hand to ensure the reliability of cooling the walls of the COP, on the other hand to provide a rocket engine power balance with the possibility of regulation of the engine. The possibility of using a gas-free scheme for thrust engines less than 35 kN is feasible when the engine is cooled with an oxidizer (oxygen).

Исследование термо-акустических характеристик вихревой трубы применительно к созданию эффективных противообледенительных систем ГТД

Веретенников С.В., Меньшаков И.А.

РГАТУ им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия

В настоящее время проблема обледенения элементов конструкций авиационных двигателей и газотурбинных энергоустановок всё ещё остаётся актуальной. Преимущества использования вихревой трубы обусловлены высоким показателем интенсификации теплообмена, а также возможностью энергетического разделения рабочего тела на подогретый и охлажденный потоки.

Основная цель исследования – нахождение взаимосвязи между эффектом подогрева и звуковыми колебаниями в процессе работы вихревой трубы. Для опытов использовалась вихревая труба с диаметром камеры энергоразделения 10 мм и относительной длиной 12 калибров. На выходе подогретого потока установлена крестовина с термопарой для измерения его температуры. Также, хромель-алюмелевые термопары были установлены на входе в вихревую трубу и на выходе охлажденного потока. Для поиска наиболее эффективного режима работы вихревой трубы варьировалась относительная доля охлажденного потока μ , путём изменения расхода на выходе холодного потока G_x при фиксированном расходе воздуха на входе. Измерение расходов осуществлялось расходомерами MassView Bronkhorst MV-306.

В процессе эксперимента при постоянном давлении на входе ($\pi=3,7$), относительная доля охлажденного потока изменялась от $\mu=0$ до $\mu=1$. Отмечено, что при изменении доли холодного потока μ до 0,9 изменение температуры подогретого потока составило $\Delta T_g=28$ К. При плавном изменении доли охлажденного потока μ в области $\mu=0,93\dots 0,95$ наблюдалось резкое повышение температуры подогретого потока T_g , причем небольшое изменение доли холодного потока приводило к повышению температуры на $\Delta T_g=42$ К. При дальнейшем увеличении доли холодного потока с $\mu=0,96$ до $\mu=1$ наблюдается резкое снижение температуры T_g до изначальной. В момент наблюдения наиболее эффективного режима работы с помощью устройства преобразующего акустические колебания в электрический сигнал (ZETLAB BC-501) был получен широкий звуковой спектр. С помощью быстрого преобразования Фурье были найдены пиковые частоты в диапазоне 8-12 кГц. Учитывая быструю динамику изменения температуры T_g нужно рассматривать влияние

газодинамических волновых и пульсационных процессов, которые могут вызывать такой подогрев, подобно эффекту Гартмана-Шпренгера.

Обнаруженный эффект резкого возрастания температуры подогретого потока в вихревой трубе при $\mu=0.93\dots 0.95$ может быть использован для создания эффективных воздушно-тепловых противобледенительных систем ГТД.

Investigation of the thermo-acoustic characteristics of a vortex tube in relation to the creation of effective anti-icing systems for gas turbine engines

Veretennikov S.V., Menshakov I.A.

RSATU, Rybinsk, Russia

Currently, the problem of icing of structural elements of aircraft engines and gas turbine power plants is still relevant. The advantages of using a vortex tube are due to the high rate of heat exchange intensification, as well as the possibility of energy separation of the working fluid into heated and cooled streams.

The main goal of the study is to find the relationship between the heating effect and sound vibrations during the operation of the vortex tube. For experiments, a vortex tube with a 10 mm diameter of the energy separation chamber and a relative length of 12 calibers was used. A crosspiece with a thermocouple is installed at the outlet of the heated stream to measure its temperature. Also, chromel-alumel thermocouples were installed at the inlet of the vortex tube and at the outlet of the cooled stream. To find the most efficient mode of operation of the vortex tube, the relative fraction of the cooled flow μ was varied by changing the flow rate at the outlet of the cold flow GX at a fixed air flow rate at the inlet. Flow measurement was performed with MassView Bronkhorst MV-306 flow meters.

During the experiment, at a constant inlet pressure ($\pi=3.7$), the relative fraction of the cooled flow varied from $\mu=0$ to $\mu=1$. It is noted that when the proportion of the cold flow changes up to 0.9 μ , the change in the temperature of the heated flow is $DTH=28$ K. With a smooth change in the proportion of the cooled stream μ in the region $\mu=0.93\dots 0.95$, a sharp increase in the temperature of the heated Tg stream was observed, and a small change in the proportion of the cold stream led to an increase in the temperature by $DTH=42$ K. With a further increase in the proportion of cold flow from $\mu=0.96$ to $\mu=1$, a sharp decrease in the Tg temperature to the initial one is observed. At the time of observation of the most effective mode of operation, a wide sound spectrum was obtained using a device that converts acoustic vibrations into an electrical signal (ZETLAB BC-501). Using the fast Fourier transform, peak frequencies were found in the range of 8-12 kHz. Given the rapid dynamics of Tg temperature changes, it is necessary to consider the influence of gas-dynamic wave and pulsation processes that can cause such heating, similar to the Hartmann-Sprenger effect.

The detected effect of a sharp increase in the temperature of the heated flow in a vortex tube at $\mu=0.93\dots 0.95$ can be used to create effective air-thermal de-icing systems for gas turbine engines.

Экспериментальное исследование формирования пленки охладителя на входной кромке сопловой лопатки ГТД

Веретеников С.В., Сквородкин Е.А., Евдокимов О.А.

РГАТУ им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия

На работоспособность газовых турбин большое влияние оказывает тепловое состояние элементов проточной части. При этом, наибольшая тепловая нагрузка приходится на сопловую аппарат первой ступени, который взаимодействует непосредственно с потоком горячих газов, поступающим из камеры сгорания.

В связи с этим необходимо организовать эффективное охлаждение на входных кромках сопловых лопаток первых ступеней газовых турбин таким образом, чтобы оттеснить поток горячих газов от поверхности лопатки. Величиной, определяющей поведение струи охладителя при выдуве в сносящий поток, является параметр выдува m .

Для системы охлаждения очень важно выдерживать параметр выдува в достаточно узком диапазоне, так как малое значение (ниже 0,8) расхода охладителя не позволит организовать эффективную завесу, при этом возможно затекание газа через отверстия перфорации внутрь лопатки.

Высокое значение параметра выдува, превышающее 1,5, влечет за собой отрыв струи охладителя от защищаемой поверхности, при этом под неё устремляются горячие газы из основного потока. В таком случае пленочное охлаждение не выполняет своей функции, происходит непосредственный контакт продуктов сгорания с поверхностью лопатки, что приводит к прогару. Турбулизация также оказывает негативный эффект на основной поток, интенсифицируя теплоотдачу продуктов сгорания за выдуваемой струей.

Современные бесконтактные методы измерения, такие как PIV, позволяют провести комплексное исследование структуры течения с определением полей скорости и визуализацией пленки на различных режимах работы, а также выявить дефекты, присутствующие в геометрии исследуемых лопаток.

С целью идентификации структуры течения основного потока в условиях его взаимодействия со струями охладителя, выдуваемыми из входной кромки лопатки, и определения толщины охлаждающей пленки у поверхности лопатки, был разработан экспериментальный стенд, с интегрированным пакетом лопаток, выполненных из полиамида, с возможностью замены центральной лопатки. В работе представлены результаты PIV исследований, показывающих влияние диаметра отверстий перфорации и расхода охладителя, который определяет параметр выдува, на структуру потока вблизи выходной кромки, а именно, на толщину пленки охладителя. Выполненная визуализация позволяет определить глубину проникновения струи охладителя в основной поток.

Experimental study of the formation of a coolant film on the leading edge of the nozzle blade of a gas turbine engine

Veretennikov S.V., Skovorodkin E.A., Evdokimov O.A.
RSATU, Rybinsk, Russia

The performance of gas turbines is greatly affected by the thermal state of the flow elements. At the same time, the greatest heat load falls on the nozzle apparatus of the first stage, which interacts directly with the flow of hot gases coming from the combustion chamber.

In this regard, it is necessary to organize effective cooling at the inlet edges of the nozzle blades of the first stages of gas turbines in such a way as to push the flow of hot gases away from the surface of the blade. The value that determines the behavior of the cooler jet when blowing into the drift stream is the blowing parameter m .

For the cooling system, it is very important to maintain the blowing parameter in a fairly narrow range, since a small value (below 0.8) of the cooler flow rate will not allow for an effective curtain, and gas may flow through the perforation holes into the blade.

A high value of the blowing parameter exceeding 1.5 leads to the separation of the cooler jet from the protected surface, while hot gases from the main stream rush under it. In this case, the film cooling does not perform its function, there is a direct contact of the combustion products with the surface of the blade, which leads to burnout. Turbulence also has a negative effect on the main stream, intensifying the heat transfer of combustion products behind the blown jet.

Modern non-contact measurement methods, such as PIV, make it possible to conduct a comprehensive study of the flow structure with the determination of velocity fields and visualization of the film in various operating modes, as well as to identify defects present in the geometry of the studied blades.

In order to identify the flow structure of the main stream in the conditions of its interaction with the cooler jets blown from the inlet edge of the blade, and to determine the thickness of the cooling film at the surface of the blade, an experimental stand was developed with an integrated package of blades made of polyamide, with the possibility of replacing the Central blade. The paper presents the results of PIV studies showing the influence of the diameter of the perforation holes and the cooler flow rate, which determines the blowing parameter, on the flow structure near the output edge, namely, on the thickness of the cooler film. The performed visualization allows you to determine the depth of penetration of the cooler jet into the main stream.

Создание рабочего эталона скорости газового потока

Версин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Создание новых перспективных и конкурентоспособных газотурбинных двигателей (ГТД) тесно связано с их экспериментальной отработкой на испытательных стендах.

Для измерения параметров потока газа внутри ГТД используют приемники полного и статического давления, получившие название «гребенки». Использование таких измерительных средств требует их обязательной поверки или калибровки на аттестованных рабочих эталонах дозвуковых и сверхзвуковых скоростей с диапазоном от 70 до 1360 м/с. Такое оборудование имеется на базе «Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского» (ЦАГИ), но в данном эталоне оборудования позиционирование гребенок довольно ограничено, что не позволяет обеспечивать просмотр параметров гребенок на разных углах атаки газового потока.

С 2017 года в Московском авиационном институте (МАИ) ведется НИР по созданию рабочего эталона дозвуковых скоростей с диапазоном от 70 до 350 м/с. В рабочем эталоне реализовано координатное устройство (КУ), основная задача которого позиционировать приемные отверстия гребенки вдоль геометрической оси сопла изменяя угол между вектором скорости потока и осью приемного отверстия в диапазоне от минус 45° до плюс 45° в тангенциальной и меридиальной плоскостях. Дискретность линейного позиционирования равна – 1 мм с погрешностью не более $\pm 0,5$ мм; дискретность углового позиционирования – 1° с погрешностью не более $\pm 0,5^\circ$. В данное время идет сборка и пуско-наладка самого эталона и его КУ.

После окончания пуско-наладочных работ данный стенд будет аттестован в качестве рабочего эталона для поверки и калибровки гребенок. В данный момент начинается подготовка соответствующих документов (паспорт, руководство по эксплуатации), разрабатывается проект описание типа, готовится предварительная методика поверки.

Creation of a working standard of gas flow rate

Versin A.A.

MAI, Moscow, Russia

The creation of new promising and competitive gas turbine engines (GTE) is closely related to their experimental development on test benches.

To measure the parameters of the gas flow inside the gas turbine engine, full and static pressure receivers are used, which are called "combs". The use of such measuring instruments requires their mandatory verification or calibration on certified working standards of subsonic and supersonic speeds with a range from 70 to 1360 m/s. Such equipment is available at the "Central Aerohydrodynamic Institute named after Professor N.Ye. Zhukovsky" (TsAGI), but in this standard equipment, the positioning of the combs is rather limited, which does not allow viewing the parameters of the combs at different angles of attack of the gas flow.

Since 2017, the Moscow Aviation Institute (MAI) has been conducting research to create a working standard for subsonic speeds with a range from 70 to 350 m/s. In the working standard, a coordinate device (CU) is implemented, the main task of which is to position the intake holes of the comb along the geometric axis of the nozzle by changing the angle between the flow velocity vector and the axis of the intake hole in the range from minus 45° to plus 45° in the tangential and meridial planes. The resolution of linear positioning is equal to – 1 mm with an error of no more than ± 0.5 mm; discreteness of angular positioning – 1° with an error of no more than $\pm 0.5^\circ$. At this time, the assembly and commissioning of the standard itself and its KU are underway.

After the completion of commissioning, this stand will be certified as a working standard for checking and calibrating the combs. At the moment, the preparation of the relevant documents (passport, operation manual) is starting, a draft description of the type is being developed, and a preliminary calibration procedure is being prepared.

Расчет сверхзвукового воздухозаборного устройства с оптимизацией системы скачков

Виноградова Е.С., Плешаков А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В процессе полета сверхзвукового летательного аппарата в различных условиях (высота, число Маха и др.) возникает необходимость согласования режимов работы ВЗУ и двигателя. На ЛА типа Су-27 это осуществляется путем изменения регулирующих факторов.

В данной работе проводится исследование возможности использования современных методов оптимизации для определения оптимального положения панелей клина сверхзвукового воздухозаборника с целью максимизации коэффициента восстановления полного давления.

Современное ПО может проводить авто оптимизацию, позволяющую определить оптимальное положение регулирующих элементов изделия для достижения его максимальной эффективности.

В данной работе было проведено исследование течения во входном устройстве Су-27 и оптимизация работы его створок в составе ЛА в двумерной постановке. ВЗУ Су-27 представляет собой плоский регулируемый воздухозаборник внешнего сжатия. Поверхность торможения выполнена в виде трехступенчатого клина.

Для оптимизации был выбран программный комплекс IOSO NM. Изменение положения панелей входного устройства осуществляется с помощью изменения угла между первой и второй ступенями трехступенчатого клина. Изменение положения остальных панелей происходит автоматически.

В рамках представленной работы проведена оптимизация положения подвижной панели ВЗУ при фиксированных условиях полета ЛА при определенном режиме работы двигателя.

В результате было получено распределение потерь полного давления в зависимости от газодинамической функции $q(\lambda)$ для различных случаев работы силовой установки в зависимости от скорости набегающего потока и высоты полета. Полученные результаты позволяют получить максимальный коэффициент восстановления полного давления при заданных условиях.

Также была задана исходная геометрия ВЗУ с заданным углом между первой и второй панелями клина. Проведя все расчеты, а также последующую оптимизацию входного устройства летательного аппарата, можно сделать вывод, что исходный угол был задан достаточно близко к оптимальному углу.

Литература:

1. Цихош Э. Сверхзвуковые самолеты: Справочное руководство. Пер. с польск.-М.: Мир, 1983.-432 с.
2. Ремеев Н.Х. Аэродинамика воздухозаборников сверхзвуковых самолетов. Жуковский: ЦАГИ, 2002 г.
3. Минин О.П., Лещенко И.А., Юрлова Н.Ю. Методика проектирования входного устройства силовой установки интегральной компоновки дозвукового летательного аппарата с применением методов многокритериальной оптимизации. Воронеж: Насосы. Турбины. 2017 г.

Calculation of the supersonic air intake with the optimization of the shock wave system

Vinogradova E.S., Pleshakov A.I.

MAI, Moscow, Russia

During the flight of a supersonic aircraft under various conditions (altitude, Mach, etc.), it becomes necessary to coordinate the operating modes of the air intake and engine. On an aircraft like Su-27, it's been done by changing various control factors (the angle of rotation of the wedge panels and etc.).

This paper investigates the possibility of using modern optimization methods to determine the optimal position of the supersonic air intake wedge panels in order to maximize the total pressure recovery factor.

Modern software allows us to conduct auto optimization, which determines the optimal position of the control elements of the investigated product to achieve its maximum efficiency.

In this work, we have investigated the flow in the Su-27 inlet and optimized the operation of the flaps of the supersonic inlet in an aircraft in a 2-D setting. The Su-27 inlet is a flat adjustable external compression inlet. The braking surface is made in the form of a three-stage wedge.

The IOSO NM software package was chosen for optimization. Change in the position of the panels of the input device is carried out by changing the angle between the first and second steps of the three-stage wedge. The position of the rest of the panels is changed automatically.

Within the framework of the presented work, the position of the moving air intake panel was optimized under fixed flight conditions of the aircraft under a certain engine operating mode.

As a result of the numerical modeling, the distribution of total pressure losses was obtained for various cases of the engine operation, depending on the incoming flow velocity and the flight altitude of the aircraft. The results make it possible to obtain the maximum total pressure recovery coefficient under given conditions.

Also, the initial geometry was set with a certain angle between the first and second wedge panels. Having performed all the calculations, as well as the subsequent optimization of the aircraft input device, it can be concluded that the initial angle was set sufficiently close to the optimal angle.

References:

1. Tsikhosh E. Supersonic aircraft: Reference guide. Mir, 1983.-432 pp.
2. Remeev N.Kh. Aerodynamics of supersonic air intakes. Zhukovskiy: TsAGI, 2002.
3. Minin O.P., Leshchenko I.A., Yurlova N.Yu. Methodology for designing the input device of the engine with the integral layout of a subsonic aircraft using multicriteria optimization methods. Voronezh: Pumps. Turbines. 2017.

Исследование особенностей завесного охлаждения несимметричных торцевых поверхностей сопловых аппаратов газовых турбин

Вятков В.В., Ремизов А.Е., Харченко Р.В.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск, Россия

Одним из способов аэродинамического совершенствования современных турбин газотурбинных двигателей является применение несимметричных торцевых поверхностей. Данное конструктивное решение направлено на снижение интенсивности вторичных течений. Однако при этом непременно увеличивается площадь торцевой поверхности и усложняется течение вблизи нее. Как показывают результаты исследования несимметричных торцевых поверхностей, увеличение площади поверхности достигает 10%. Все это осложняет использование завесного охлаждения торцевых стенок. Особенностью охлаждения торцевых стенок является тот факт, что струи охладителя выдуваются в область сложной формы, где распространяются вторичные вихри. Сложный характер пространственного течения в лопаточном венце турбины, взаимодействие температурной неравномерности вторичных и вихревых течений приводит к появлению сложного трехмерного распределения температуры потока и коэффициентов теплоотдачи в межлопаточном канале, в том числе от газа к торцевой стенке. Вопрос о размещении отверстий охладителя на несимметричной торцевой стенке остается открытым. С целью выявления особенностей организации завесного охлаждения несимметричных торцевых поверхностей было проведено исследование охлаждаемого соплового аппарата с несимметричными торцевыми стенками. Исследование велось путем решения сопряженной задачи. Показано, что традиционная схема организации завесного охлаждения позволяет получить заданное температурное состояние торцевой поверхности при неприемлемых с точки зрения двигателя расходах охладителя и параметрах вдува. Особенно осложняется охлаждение выпуклых (со стороны стенки) областей торцевой поверхности. Показано, что в качестве базовой схемы можно применить организацию рядов перфораций перед сопловым аппаратом неравномерным распределением отверстий внутри межлопаточного канала. При этом обязательным является использование конструктивных мероприятий, направленных на интенсификацию теплообмена во внутренней полости

торцевой стенки. Совокупность данных мероприятий позволяет обеспечить приемлемые с точки зрения сохранения КПД ступени расходы охладителя. При этом сохраняется положительный эффект применения несимметричных торцевых поверхностей.

Study of the features of cooling of asymmetric end surfaces of gas turbine nozzles

Vyatkov V.V., Remizov A.E., Harchenko R.V.

²RSATU, Rybinsk, Russia

One of the methods of aerodynamic improvement of modern turbines of gas turbine engines is the use of asymmetric end surfaces. This constructive solution is aimed at reducing the intensity of secondary flows. However, this inevitably increases the area of the end surface and complicates the flow near it. As the results of the study of asymmetric end surfaces show, the increase in surface area reaches 10%. All this complicates the use of convective-film cooling of the end walls. A feature of the end wall cooling is the fact that the coolant jets are blown out into a region of complex shape, where secondary vortices propagate. The complex nature of the spatial flow in the turbine blade row, the interaction of the temperature irregularity of the secondary and vortex flows leads to the appearance of a complex three-dimensional distribution of the flow temperature and heat transfer coefficients in the inter-blade channel, including from the gas to the end wall. The question of the placement of cooler holes on the asymmetrical end stack remains open. In order to identify the features of the organization of convective-film cooling of asymmetric end surfaces, a study of a cooled nozzle apparatus with asymmetric end walls was carried out. The research was carried out by solving a conjugate problem. It is shown that the traditional scheme of convective-film cooling organization allows obtaining a given temperature state of the end surface at coolant flow rates and injection parameters that are unacceptable from the engine's point of view. The cooling of convex (from the side of the wall) regions of the end surface is especially complicated. It is shown that the organization of the rows of perforations in front of the nozzle apparatus with an uneven distribution of holes inside the interscapular channel can be used as a basic scheme. In this case, it is obligatory to use constructive measures aimed at intensifying heat transfer in the inner cavity of the end wall. The combination of these measures makes it possible to ensure that the costs of the cooler are acceptable from the point of view of maintaining the efficiency of the stage. At the same time, the positive effect of using asymmetric end surfaces remains

Численная математическая модель процессов в разрядной камере высокочастотного ионного двигателя

Гордеев С.В., Хартов С.А., Канев С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из тенденций развития для современных космических аппаратов является увеличение времени их активного существования. Для управления движением таких аппаратов перспективными являются ионные двигатели, которые превосходят другие реактивные двигатели по величине удельного импульса. В настоящей работе предложена численная осесимметричная модель газового разряда в разрядной камере высокочастотного ионного двигателя, позволяющая получить поля концентраций ионов, нейтральных частиц, температур и среднеквадратичных значений кольцевых скоростей электронов. Кроме того, модель позволяет рассчитывать интегральные параметры двигателя.

Расчет концентрации нейтральных атомов основан использовании метода граничных элементов с учетом допущения о свободномолекулярном течении в камере. При этом учитывается ионизация атомов, приводящая к уменьшению потоков между граничными элементами.

Для расчета концентрации ионов использован метод траекторий [1]. Расчетная область разбивается на кольцевые объемы. Затем в области задаются начальные приближения для распределений электрического потенциала и концентрации ионов, и рассчитываются траектории частиц в электрическом поле. Далее на основе балансовых соотношений вычисляются изменения концентраций по каждой траектории и пересчитывается новое распределение концентрации ионов. Расчет производится итерационно до достижения сходимости.

Распределение кольцевых электронных токов рассчитывается с использованием известных концентраций ионов и нейтральных атомов, геометрии разрядной камеры и расположения индуктора, а также величины и частоты тока в нем [2].

С использованием разработанной модели были построены распределения параметров плазмы в разрядной камере и рассчитаны интегральные параметры двигателя с диаметром пучка 10 см. Результаты расчета отличаются от известных экспериментальных данных не более чем на 10 %, что говорит о применимости разработанной модели для расчета высокочастотных ионных двигателей.

Литература:

1. S.V. Gordeev, S.V. Kanev and S.A. Khartov "Numerical mathematical model for calculating ion density in the gas-discharge chamber of a radio-frequency ion thruster" IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1479, 2020, 012057, IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1479/1/012057.

2. Гордеев С. В., Канев С. В., Суворов М.О., Хартов С.А. Оценка параметров прямооточного высокочастотного ионного двигателя // Труды МАИ. 2017. № 96. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=85709>.

Numerical mathematical model of the processes in the discharge chamber of a radio-frequency ion thruster

Gordeev S.V., Khartov S.A., Kanev S.V.
MAI, Moscow, Russia

One of the trends for modern spacecraft is the increase of their active lifetime. For the motion control of such spacecraft ion thrusters are perspective as they have comparatively high specific impulse. The paper describes the numerical axisymmetric mathematical model of gas discharge in the discharge chamber of radio-frequency ion thruster. The model calculates the ion density and the neutral atom density distribution as well as the distributions of root mean square values of electron velocities and of electron temperature. Besides, the model makes it possible to calculate the integral thruster parameters.

The calculation of neutral atom density is based on the method of boundary elements and on the assumption of free molecular flow in the chamber. We also take into account that the atom ionization decreases the gas flow between elements.

For the ion density calculation the method of trajectories is used [1]. The considered area is replaced by number of the ringed volumes. Then, the initial distribution of electric potential and of ion density is set and ion trajectories in electric field are calculated. After that, the ion density for each trajectory is calculated based on the relations of particle balance and the new ion density distribution is recalculated. The computation is performed iteratively until the result is obtained.

The electron current distribution is computed taking into account the ion density and the neutral atom density and the ion density, as well as the discharge chamber and coil geometry and the value and the frequency of coil current [2].

The plasma parameters distributions in the discharge chamber of the thruster with the diameter of ion beam of 10 cm were obtained and its parameters were computed using the developed model. The difference between the results of computation and the experimental data is less than 10%, and therefore the developed model is applicable for the computation of parameters of radio-frequency ion thrusters.

References:

1. S.V. Gordeev, S.V. Kanev and S.A. Khartov "Numerical mathematical model for calculating ion density in the gas-discharge chamber of a radio-frequency ion thruster" IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1479, (2020), 012057, IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1479/1/012057.

2. S.V. Gordeev, S.V. Kanev M.O. Suvorov, S.A. Khartov. Evaluation of high-frequency ion thruster parameters. Trudy MAI. 2017. No. 96. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=85709>.

Расчет лабиринтного уплотнения насоса окислителя турбонасосного агрегата с целью определения гидродинамической жесткости

¹Дормидонтов Н.Е., ²Степанов Д.В.

¹НПО Энергомаш, г. Химки, Россия

²КАДФЕМ Си-Ай-Эс, г. Самара, Россия

Лабиринтным уплотнением называют такой тип бесконтактных щелевых уплотнений, в которых проточный канал резко изменяет свое сечение из-за кольцевых канавок. В таком уплотнении перетекание жидкости сокращается из-за потерь давления на вихреобразование в камерах и потерь на входе узких участков щелей. В связи с этим, лабиринтные уплотнения эффективны для жидкости при высоких числах Re. По этой причине использование лабиринтных уплотнений для сокращения утечек является частой практикой при создании турбонасосных агрегатов (ТНА) жидкостных ракетных двигателей (ЖРД).

В процессе работы в лабиринтном уплотнении возникают силы, действующие на ротор. Они обусловлены неизбежным наличием эксцентриситета, в результате которого возникает неравномерное поле давлений в зазоре между ротором и статором. В результате чего возникает квазиупругая гидродинамическая сила, направленная против смещения, стремящаяся его устранить, и циркуляционная сила, направленная перпендикулярно смещению, стремящаяся вызвать прецессионное вращение. Следует отметить, что гидродинамические силы, возникающие в щелевых уплотнениях, оказывают существенное влияние на роторную систему. Так, уплотнения могут играть роль дополнительных опор с определенной жесткостью, что в свою очередь повлечет изменение критической частоты вращения ротора.

С развитием расчетно-вычислительных технологий для задач вычислительной гидродинамики большую популярность получили расчетные комплексы, основанные на конечно-разностных методах (ANSYS Fluent, CFX). Это позволило более точно оценить течение рабочего тела в уплотнениях различной формы.

В рамках данной работы был проведен расчет лабиринтного уплотнения насоса окислителя ТНА мощного ЖРД с целью определения гидродинамической жесткости.

По полученным результатам определено значение коэффициента гидродинамической жесткости лабиринтного уплотнения. Полученные значения коэффициентов говорят о достаточно высокой жесткости конструкции как первого, так и второго варианта лабиринтного уплотнения.

Calculation of the labyrinth seal of the oxidizer pump of a turbopump unit in order to determine the hydrodynamic stiffness

¹Dormidontov N.E., ²Stepanov D.V.

¹NPO Energomash, Khimki, Russia

²CADFEM CIS, Samara, Russia

A labyrinth seal is a type of non-contacting slotted seal in which the flow channel changes its section abruptly due to annular grooves. In such a seal, liquid overflow is reduced due to pressure losses due to vortex formation in the chambers and losses at the inlet of narrow sections of the slots. Therefore, labyrinth seals are effective for liquids at high Re numbers. For this reason, the use of labyrinth seals to reduce leaks is a common practice in the development of liquid-propellant rocket engines (LRE) turbopump units (TNA).

In the process of operation, forces acting on the rotor arise in the labyrinth seal. They are due to the inevitable presence of eccentricity, which results in an uneven pressure field in the gap between the rotor and stator. As a result, a quasi-elastic hydrodynamic force arises, directed against the displacement, tending to eliminate it, and a circulating force directed perpendicular to the displacement, tending to cause precessional rotation. It should be noted that the hydrodynamic forces arising in slotted seals have a significant impact on the rotor system. So, seals can play the role of additional supports with a certain stiffness, which in turn will entail a change in the critical rotor speed.

With the development of computational technologies for problems of computational fluid dynamics, computational complexes based on finite-difference methods (ANSYS Fluent, CFX) have become very popular. This made it possible to more accurately assess the flow of the working fluid in seals of various shapes.

Within the framework of this work, the calculation of the labyrinth seal of the oxidizer pump of the TNA of a powerful liquid-propellant engine was carried out in order to determine the hydrodynamic stiffness.

Based on the results obtained, the value of the coefficient of hydrodynamic stiffness of the labyrinth seal was determined. The obtained values of the coefficients indicate a sufficiently high rigidity of the structure of both the first and second variants of the labyrinth seal.

Разработка и испытания ЭРД малой мощности для МКА ДЗЗ на основе абляционного импульсного плазменного двигателя

Дьяконов Г.А., Богатый А.В., Каширин Д.А., Попов Г.А., Семенихин С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время малые космические аппараты (МКА) могут достаточно эффективно решать такие актуальные задачи как дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), навигация, картография, связь, особенно если они объединены в орбитальные группировки.

Условия функционирования группировок низкоорбитальных МКА требуют поддержания и регулярной коррекции их орбит, что делает необходимым использование малогабаритных двигательных установок, способных эффективно работать в условиях ограниченного потребления электроэнергии.

Одним из перспективных двигателей малой тяги для решения задач управления движением МКА является абляционный импульсный плазменный двигатель, использующий в качестве рабочего тела плазму продуктов абляции твердого вещества (фторопласта-4). Основными преимуществами АИПД являются конструктивная и функциональная простота, дешевизна производства и эксплуатации, высокая надежность, хорошая совместимость с бортовыми системами электропитания и управления МКА. Одной из важных особенностей АИПД, выгодно отличающей его от ЭРД других типов, является способность к регулированию тяги и потребляемой мощности в широких пределах путем варьирования частоты импульсов без снижения эффективности рабочего процесса.

В НИИ ПМЭ МАИ созданы АИПД нового поколения, сочетающие простоту традиционного АИПД с увеличенной тяговой эффективностью, сравнимой с тяговой эффективностью существующих стационарных ЭРД малой мощности. Их характерной особенностью является лучшее, чем в двигателях первого поколения, согласование ввода энергии и массы в разрядный канал.

В 2020 году в НИИ ПМЭ МАИ разработан и испытан на стенде макет АИПД-350, предназначенный для поддержания и коррекции орбиты МКА ДЗЗ. От ранее созданных АИПД новый двигатель отличается:

- Модульной конструкцией, допускающей раздельную сборку, регулировку и испытания двигательных блоков и блока накопителя энергии.

- Приближенным к оптимальному для данного класса тяги энергосодержанию накопительной конденсаторной батареи.

- Характеристиками разрядной цепи, обеспечивающими лучшее согласование ввода энергии и массы плазмообразующего вещества в разрядные каналы.

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований макета АИПД-350.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы" (Соглашение №05.607.21.0308. Уникальный идентификатор Соглашения: RFMEFI60719X0308).

Development and testing of a low-power EPT based on an ablative pulsed plasma thruster for ERS small spacecraft

Diakonov G.A., Bogatyı A.V., Kashirin D.A., Popov G.A., Semenikhin S.A.
MAI, Moscow, Russia

Currently, small spacecraft (SSC) can effectively solve such urgent tasks as remote sensing of the Earth (ERS), navigation, cartography, communications, especially if they are combined in orbital constellations. The operating conditions of low-orbit SSC constellations require maintaining and regularly correcting their orbits, which makes it necessary to use small-sized propulsion systems that can work effectively in conditions of limited electricity consumption.

One of the promising low-thrust engines for solving problems of motion control of the SSC is an ablative pulsed plasma thruster (APPT) that uses the plasma of ablation products of a solid substance (fluoroplast-4) as the propellant. The main advantages of APPT are structural and functional simplicity, low cost of production and operation, high reliability, and good compatibility with onboard power supply and control systems of the SSC. One of the important features of APPT, which distinguishes it from other types of EPT, is the ability to regulate thrust and power consumption over a wide range by varying the pulse frequency without reducing the efficiency of the working process.

The RIAME MAI has created a new generation of APPT that combines the simplicity of a traditional APPT with increased thrust efficiency, comparable to the thrust efficiency of existing stationary low-power EPT. Its characteristic feature is better matching of energy and mass input into the discharge channel than in first-generation thrusters.

In 2020, the RIAME MAI developed and tested APPT-350 model intended to maintain and correct the orbit of the ERS SSC. The new thruster differs from the previously created APPT samples by:

- Modular design that allows separate assembly, adjustment, and testing of the thruster unit and the energy storage unit.
- Close to the optimal energy content of the storage capacitor bank for this class of thrust.
- Characteristics of the discharge circuit that provide better local-time coordination of the input of energy and mass of the plasma-forming substance into the discharge channels.

The paper presents the results of experimental studies of the APPT-350 model.

The works have been fulfilled within the frames of implementation of the Federal Targeted Program "Research and Development in the priority fields of the science and technology sector growth in Russia for 2014–2020" (Agreement No. 05.607.21.0308. The unique identifier of Agreement: RFMEFI60719X0308).

Применение композиционных материалов в модернизированном компрессоре низкого давления двигателя для регионального пассажирского самолета

Ерофеев Т.С., Равикович Ю.А., Архипов А.Н., Шахов А.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в современных авиационных газотурбинных двигателях является важной задачей. В настоящее время применение ПКМ возможно во внешнем воздушном тракте вентилятора авиационного двигателя для не вращающихся деталей, которые не подвергаются высоким нагрузкам. Тем не менее оценка надежности и долговечности деталей ПКМ в эксплуатации является актуальной.

Данная задача решалась при модернизации компрессора низкого давления двигателя для регионального пассажирского самолета. Было предложено использовать ПКМ для изготовления разделителя потоков и внутренних панелей. При проектировании этих деталей необходимо выбрать критерии, учитывающие условия их эксплуатации и особенности ПКМ.

Для предварительной оценки статической и динамической прочности разделителя потоков и внутренних панелей была проведена серия трехмерных конечно-элементных расчетов с учетом анизотропии свойств ПКМ и воспроизведении закрепления деталей на двигателе и

эксплуатационных нагрузок. В качестве материала разделителя потоков был предложен эпоксидный углепластик, а в качестве материала панелей внутренних – термопластичный ПКМ. При проведении динамических расчетов были определены собственные частоты колебаний деталей и их близость к роторным гармоникам. При проведении статических расчетов были определены уровни статических напряжений на максимальных режимах работы компрессора и при нерасчетных перегрузках, которые могут возникнуть при обрыве лопаток.

По результатам предварительных расчетов была предложена серия испытаний лабораторных образцов, конструктивных элементов, вырезанных из готовых деталей, и самих деталей на испытательных машинах и на двигателе.

Для выбора формы и режимов испытаний лабораторных образцов были проведены дополнительные трехмерные конечно-элементные расчеты при растяжении, сжатии, изгибе, срезе.

Испытания лабораторных образцов позволили провести сравнение полученных механических свойств со свойствами, заявленными поставщиками ПКМ, и провести более корректную оценку запасов прочности деталей.

Для принятия решения о постановке деталей на двигатель были проведены усталостные и эрозионные испытания конструктивных элементов, вырезанных из готовых деталей, а также испытания деталей на вибростойкость, циклическую прочность и ползучесть.

Окончательное решение о работоспособности деталей из ПКМ было принято после их испытаний в составе модернизированного КНД на двигателе.

Application of composite materials in an upgraded engine low pressure compressor for a regional passenger aircraft

Erofeev T.S., Ravikovich Yu.A., Arkhipov A.N., Shakhov A.S.
MAI, Moscow, Russia

The use of polymer composite materials (PCM) in modern aircraft gas turbine engines is an important task. Currently, the use of PCM is possible in the external air path of an aircraft engine fan for non-rotating parts that are not exposed to high loads. Nevertheless, the assessment of the reliability and durability of PCM parts in operation is relevant.

This problem was solved during the modernization of the engine low pressure compressor for a regional passenger aircraft. It was proposed to use PCM for the manufacture of flow divider and internal panels. When designing these parts, it is necessary to select criteria that take into account the conditions of their operation and the features of the PCM.

For a preliminary assessment of the static and dynamic strength of the flow divider and internal panels, a series of three-dimensional finite element calculations was carried out taking into account the anisotropy of the PCM properties and reproducing the attachment of parts to the engine and operating loads. Epoxy carbon fiber was proposed as the material for the flow separator, and thermoplastic PCM as the material for the inner panels. When carrying out dynamic calculations, the natural vibration frequencies of the parts and their proximity to rotor harmonics were determined. When carrying out static calculations, the levels of static stresses were determined at the maximum operating modes of the compressor and at off-design overloads that may occur when the blades break.

Based on the results of preliminary calculations, a series of tests were proposed for laboratory samples, structural elements cut from finished parts, and the parts themselves on testing machines and on an engine.

To select the shape and test modes of laboratory samples, additional three-dimensional finite element calculations were carried out in tension, compression, bending, shear.

Tests of laboratory samples made it possible to compare the obtained mechanical properties with the properties declared by PCM suppliers and to conduct a more correct assessment of the safety margins of parts.

To make a decision to install parts on the engine, fatigue and erosion tests of structural elements cut from finished parts were carried out, as well as tests of parts for vibration resistance, cyclic strength and creep.

The final decision on the possibility of using of the PCM parts was made after testing them as part of the upgraded LPC on the engine.

Методика оценки подвижности и проходимости агрегатов транспортно-установочного оборудования перспективных ракетных комплексов с применением комбинированной трансмиссии

Ерусланкин С.А.

МАДИ, г. Москва, Россия

Решение многочисленных задач промышленности, обороны и других отраслей государства неотрывно связано с комплексом наземных безрельсовых транспортных средств.

Не смотря на многообразие созданных средств и методик повышения проходимости, проблема преодоления сложных участков вне дорог до сих полностью не решена, из-за множества факторов влияющих на движение агрегатов транспортно-установочного оборудования перспективных ракетных комплексов вне дорог.

С целью повышения подвижности и проходимости агрегатов транспортно-установочного оборудования перспективных ракетных комплексов разработана методика для оценки их подвижности и проходимости с учетом влияния на их тягово-динамических характеристик, структуры, состава, параметров и алгоритмов управления комбинированной трансмиссии на базе управляемых вентильно-индукторных приводов.

Разработанная методика, позволяет оценивать взаимосвязь между подвижностью, проходимостью, тягово-динамическими характеристиками агрегатов транспортно-установочного оборудования перспективных ракетных комплексов и структурой, составом, параметрами комбинированной трансмиссии с применением управляемых вентильно-индукторных приводов и алгоритмов управления ими.

В методике обоснованы назначение, состав и структура исходных данных, разработан алгоритм методики оценки подвижности и проходимости агрегатов транспортно-установочного оборудования перспективных ракетных комплексов с применением комбинированной трансмиссии на базе вентильно-индукторных приводов, приведен пример использования методики оценки подвижности и проходимости транспортных средств большой грузоподъемности с применением комбинированной трансмиссии на базе вентильно-индукторных приводов, указаны области применения разработанной методики и направления её дальнейшего совершенствования.

Результаты апробации методики на примере агрегата СО-755 выявили повышение показателей подвижности, проходимости агрегатов транспортно-установочного оборудования перспективных ракетных комплексов с применением комбинированной трансмиссии на базе вентильно-индукторных приводов по сравнению с показателями подвижности, проходимости транспортных средств большой грузоподъемности с применением комбинированной трансмиссии на базе известных электроприводов.

Methodology for estimating the mobility and performance of transportation equipment units for advanced rocket complexes using a combined transmission

Eruslankin S.A.

MADI, Moscow, Russia

The solution of numerous tasks of industry, defense and other sectors of the state is inextricably linked with the complex of ground trackless vehicles.

Despite the variety of created means and methods for increasing cross-country ability, the problem of overcoming difficult sections off the roads has not yet been completely solved, due to many factors affecting the movement of transport and installation equipment units of promising off-road missile systems.

звеном в выявлении причин и предотвращении возможной неустойчивости (пульсаций давления и тяги) в работе ракетного двигателя на новых высокоэнергетических наполнителях.

Numerical research of pressure and thrust pulsations in the combustion chambers of solid propellants

Zhiltsov K.N., Eremin I.V., Tyryshkin I.M., Chervakova A.V.
TSU, Tomsk, Russia

The operation of the combustion chamber (CC) of a solid fuel rocket motor is characterized by high pressures, high fuel combustion rates and a complex composition of combustion products. Self-oscillations of operating parameters exceeding the limits can lead to the development of various types of instabilities in the CC. This affects the likelihood of malfunctions in the operation of both individual systems and the rocket engine as a whole. The main sources of instability are unsteady combustion of the solid fuel charge and gas-dynamic instability of the flow in the gas-dynamic path. The complex configuration of CC in modern engines leads to the fact that the flow of combustion products is characterized by a vortex structure with the presence of stagnant zones and areas of flow separation. The vortices generate acoustic signals that affect the change in the characteristics of the main flow. When the frequency of vortex formation coincides with the natural acoustic oscillations of the CC the amplitude of pressure pulsations increases.

The paper presents mathematical methods for determining the natural frequencies of the gas cavity of the CC. For mathematical modeling in the axisymmetric formulation the solution of the equations of gas dynamics is used together with the low Reynolds k - ϵ turbulence model or the LES model of large-scale eddies. The results of numerical studies of the gas-dynamic structure of the flow show the presence of intense vortex formation. This makes a significant contribution to the position of the first modes and the amplitude of acoustic pressure oscillations. A pronounced vortex flow pattern leads to a significant increase in the amplitude of pressure pulsations. On the basis of the calculated data, a refined method is presented for determining the natural acoustic frequency of a CC with a complex charge configuration based on the principle of bringing the free volume of the chamber to a cylindrical shape. The relationship between the pulsation characteristics in the CC and the rocket engine thrust oscillations has been investigated. Taking into account the complex shape of the combustion surface, the development of a calculation technique that allows simulating a complex vortex gas-dynamic structure of the flow is an important link in identifying the causes and preventing possible instability (pressure and thrust pulsations) in the operation of a rocket engine on new high-energy fillers.

Исследование возникновения колебаний параметров компонентов топлива в отводящих магистралях центробежных насосов ЖРД

Журавлев В.Н., Мартиросов Д.С.
НПО Энергомаш, г. Химки, Россия

Работа посвящена исследованию возникновения колебаний параметров компонентов топлива в отводящих магистралях центробежных насосов ЖРД. Огневые испытания показывают, что на определенных режимах в отводящих магистралях центробежных насосов наблюдается повышенная динамическая активность. Основной составляющей спектра пульсаций на выходе насосов являются колебания кратные частоте вращения ротора и числу лопаток рабочего колеса. Неоднородность потока на этой частоте образуется при его движении из вращающегося центробежного колеса в направляющий аппарат и выходной патрубков.

Для проведения анализа выделен контур, в котором возникает неустойчивость:

Насос горючего второй ступени – регулятор расхода – смесительной головки газогенератора.

Разработана математическая модель, описывающая стационарное течение жидкости в выделенном контуре. Проведен расчет параметров одномерного течения малосжимаемой жидкости без учета податливости стенки. Модель составлена из элементов, которые описывают инерционные, ёмкостные и резистивные характеристики жидкости.

Для определения граничных условий проведена верификация модели по экспериментальным данным.

Анализ результатов расчетов, полученных по разрабатываемой математической модели и сопоставление их с результатами огневых испытаний показывают, что при возмущении давления на выходе насоса в диапазоне частот от 0 до 3000 Гц расчетные собственные частоты контура практически совпадают с лопаточными частотами, наблюдаемыми при огневых испытаниях и формируются контуром насос горючего второй ступени – регулятор расхода.

The study of working processes in the discharge lines of centrifugal pumps LRE

Zhuravlev V.N., Martirosov D.S.
NPO Energomash, Khimki, Russia

The work is devoted to the study of the occurrence of fluctuations in the parameters of fuel components in the outflow lines of centrifugal pumps of liquid-propellant engines. Fire tests show that at certain modes in the outlet lines of centrifugal pumps, there is an increased dynamic activity. The main component of the pulsation spectrum at the pump outlet are oscillations multiples of the rotor speed and the number of impeller blades. The inhomogeneity of the flow at this frequency is formed when it moves from the rotating centrifugal wheel to the guide vanes and the outlet.

For the analysis, a contour is highlighted in which instability occurs:

Fuel pump of the second stage – flow regulator – combustion chamber of the preburner

A mathematical model has been developed that describes the steady flow of a fluid in a selected circuit. The calculation of the parameters of a one-dimensional flow of a low-compressible fluid is carried out without taking into account the compliance of the wall. The model is composed of elements that describe the inertial, capacitive and resistive characteristics of the fluid.

To determine the boundary conditions, the model was verified using experimental data.

Analysis of the calculation results obtained by the developed mathematical model and their comparison with the results of firing tests show that when the pressure at the pump outlet is disturbed in the frequency range from 0 to 3000 Hz, the calculated natural frequencies of the loop practically coincide with the blade frequencies observed during firing tests and are formed by the loop Fuel pump of the second stage - flow regulator.

Разработка эффективного стационарного плазменного двигателя масштаба СПД-70 на криптоне

Захарченко В.С., Ким В.П., Шилов Е.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Стационарные плазменные двигатели (СПД) успешно работают в космосе многие годы [1]. Известно, что ксенон является основным рабочим телом для СПД. Однако ксенон производится в ограниченных масштабах и является очень дорогим веществом. Поэтому переход к альтернативным рабочим телам является одной из актуальных задач разработки новых СПД.

Криптон является перспективным рабочим телом для СПД по ряду причин: более низкая стоимость, большее годовое производство относительно ксенона, является инертным газом, а также имеет потенциал ионизации, близкий к ксенону.

В докладе представлены исследования возможности разработки эффективного СПД, работающего на криптоне при мощностях порядка 1 кВт.

Приведены результаты исследований работы лабораторной модели масштаба СПД-70 в диапазоне мощностей от 600 Вт до 1,5 кВт. Определены режимы работы двигателя с устойчивыми характеристиками, представляющими интерес при решении задач, связанных с коррекцией и стабилизацией орбит малых КА, в том числе, и для многоспутниковых группировок.

Исследованы зоны эрозии стенок разрядной камеры. Показана возможность создания двигателя с существенно пониженной эрозией при работе на криптоне по сравнению с существующими двигателями.

В целом полученные данные свидетельствуют о возможности разработки конкурентоспособного СПД на криптоне.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка физико-технических основ проектирования плазменных двигателей с замкнутым дрейфом электронов на криптоне для управления движением малых космических аппаратов» совместно с ОКБ "Факел" и МГТУ им. Баумана в рамках Соглашения о предоставлении субсидии № 075-15-2019-1686 от 26.11.2019 г. Уникальный идентификационный номер RFMEFI60419X0212

Литература:

1. Dan Lev, Roger M. Myers, Kristina M. Lemmer et al. The technological and Commercial Expansion of Electric Propulsion in the past 24 years // paper IEPC 2017- 242, Proc. 35th International Electric Propulsion Conference, October 8-12, 2017, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

Development of an effective stationary plasma thruster of SPT-70 scale on krypton

Zakharchenko V.S., Kim V.P., Shilov E.A.

²MAI, Moscow, Russia

Stationary plasma thrusters (SPD) have been successfully operating in space for many years [1]. It is known that xenon is the main working substance for SPT. However, xenon is produced on a limited scale and is a very expensive substance. Therefore, the transition to alternative working substances is one of the actual tasks in the development of new SPT.

Krypton is a promising working substance for SPT for a number of reasons: lower cost, higher annual production relative to xenon, is an inert gas, and has the potential for ionization close to xenon.

The report presents a study of the possibility of developing an effective SPT operating on krypton with a power of about 1 kW.

Research results of SPT-70 scale laboratory model operation in the power range from 600 W to 1.5 kW are presented. Determined are the modes of operation of the thruster with stable characteristics that are of interest in solving problems related to correction and stabilization of orbits of small satellites, including those for multi-satellite groups.

In general, the obtained data indicate the possibility of developing a competitive SPT on krypton.

The work was carried out as part of the project "Development of physical and technical foundations for the design of plasma engines with closed electron drift on krypton to control the movement of small spacecraft" together with the Fakel Design Bureau and Bauman Moscow State Technical University within the Agreement on Subsidy No. 075-15-2019-1686 dated 26.11.2019 Unique identification number RFMEFI60419X0212.

References:

1. Dan Lev, Roger M. Myers, Kristina M. Lemmer et al. The technological and Commercial Expansion of Electric Propulsion in the past 24 years // paper IEPC 2017- 242, Proc. 35th International Electric Propulsion Conference, October 8-12, 2017, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

Разработка испытательного стенда топливной системы с изменением положения объекта испытаний в режиме текущего времени

Зинина А.И., Микрюков Н.В., Смагин Д.И., Савельев Р.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Разработка новых образцов вертолётов невозможна без создания современной испытательной базы. Данная база должна снизить риски появления отрицательных результатов лётных испытаний и способствовать снижению стоимости всего цикла при создании нового образца вертолёта.

В настоящее время известны испытательные базы (стенды) на которых возможны и осуществляются испытания отдельных компонентов, предназначенных для установки на вновь создаваемых образцах вертолётов. Известны также и полноразмерные стенды отдельных систем вертолёта, на которых выполняется отработка указанных систем. Однако, все эти полноразмерные стенды являются неподвижными объектами и не позволяют

выполнить наземную отработку конкретной системы в её динамическом режиме функционирования.

Таким образом, перед разработчиками стоит задача создания целого класса испытательных стендов, позволяющих ещё на земле, проверить и выдать соответствующую информацию о возможном сбое.

Вновь разрабатываемый стенд для испытаний топливных систем вертолёта как раз и предназначен для выполнения указанной выше функции.

Разрабатываемый стенд представляет собой совокупность двух поворотных платформ (рам), шарнирно соединённых друг с другом. Причём оси этих поворотных платформ лежат во взаимно перпендикулярных плоскостях и имеют такое взаимное расположение, при котором одна рама находится внутри другой. Каждая рама имеет свой привод, приводящий эту раму в движение. Все компоненты испытываемой системы (топливные баки, штатные насосы, трубопроводы и агрегаты) устанавливаются на внутреннюю раму.

Для имитации работы конкретной топливной системы разрабатываемый стенд имеет также стационарную топливную ёмкость с топливом и комплекс трубопроводов и насосов для заполнения топливных баков испытываемой системы.

Вследствие конструктивных особенностей разрабатываемого стенда, компоненты испытываемой топливной системы имеют возможность перемещаться вокруг перпендикулярных осей, имитируя изменение своего пространственного положения по каналам крена и тангажа.

Кроме того, использование соответствующей системы управления работой приводов упомянутых выше рам, позволяет выполнять перемещения рам по заданному для каждой рамы закону.

Development of a test bench for the fuel system with a change in the position of the test object in the current time mode

Zinina A.I., Mikryukov N.V., Smagin D.I., Savelyev R.S.
MAI, Moscow, Russia

The development of new models of helicopters is impossible without the creation of a modern testing base. This base should reduce the risks of negative flight test results and help reduce the cost of the entire cycle when creating a new helicopter model.

At present, there are known test bases (stands) on which tests of individual components intended for installation on newly created helicopter models are possible and carried out. There are also known full-size stands of individual helicopter systems, on which these systems are tested. However, all these full-size test benches are stationary objects and do not allow ground testing of a specific system in its dynamic mode of operation.

The developers are faced with the task of creating a whole class of test benches that will allow, while still on the ground, to check and give relevant information about a possible failure.

The newly developed test bench for helicopter fuel systems is designed to perform the above function.

The stand being developed is a combination of two rotary platforms (frames), hingedly connected to each other. Moreover, the axes of these rotary platforms lie in mutually perpendicular planes and have such a mutual arrangement in which one frame is inside the other. Each frame has its own drive that sets this frame in motion. All components of the system under test (fuel tanks, standard pumps, pipelines and units) are installed on the inner frame.

To simulate the operation of a specific fuel system, the test bench also has a stationary fuel tank with fuel and a set of pipelines and pumps for filling the fuel tanks of the system under test.

Due to the design features of the stand being developed, the components of the tested fuel system have the ability to move around perpendicular axes, simulating a change in their spatial position along the roll and pitch channels.

The use of an appropriate control system for the operation of the drives of the above-mentioned frames, in addition, makes it possible to move the frames according to the law specified for each frame.

Системы контроля параметров вертолётной двигательной установки

Ильеня М.Ю., Лепёшкин А.Р., Ильинская О.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассмотрены системы контроля и управления вертолётными газотурбинными двигателями и представлены основные технические данные, условия эксплуатации, требования и функции усовершенствованного блока автоматического регулирования и контроля (БАРК). Приведены возможности системы контроля (с датчиками углового положения) и автоматического регулирования при появлении разнорежимности работы двигателя. Разработана технология слежения и контроля работы механической системы управления для повышения эффективности управления вертолётной двигательной установки при испытаниях.

Место установки системы слежения и контроля работы механической системы управления вертолётном и двигателями выбиралось с учётом расстояния между тягами и установленными датчиками углового положения – для возможности более точного снятия показаний линейных перемещений тяг управления. Место указанной системы контроля было выбрано внутри кабины фюзеляжа вертолётa вблизи расположенных тяг проводки управления вертолётом.

Данная система позволяет отследить положение всех органов управления вертолётом и двигателями при проведении испытаний. Это позволяет понять на каких режимах полёта – нужно внести настройки в систему управления двигателями и более точно настроить блок автоматического регулирования (БАРК). Так в режиме полёта лётчик управляет вертолётом и использует ручку общего шага и управления двигателями, и вся информация о перемещениях ручки и коррекции работы двигателей передаётся через датчик углового положения в систему бортовых измерений (СБИ).

По результатам испытаний после получения данных работы БАРК, системы слежения и контроля работы механической системы управления вертолётом и СБИ – вносятся изменения в регулировку управления вертолётом и двигателями для повышения эффективности управления на определённых режимах полёта. Также данная система применяется для передачи данных от датчиков угловых положений в систему аварийной регистрации параметров. Показания указанных датчиков используются при расследовании авиационного происшествия и для проверки соответствия мощности двигателя и положения тяг и проводки управления двигателями. Таким образом, можно отследить предполагаемую неисправность двигателя или системы управления двигателями. Показаны достоинства разработанной технологии контроля параметров вертолётной двигательной установки

Parameter control systems of helicopter propulsion system

Ilyenya M.Y., Lepeshkin A.R., Ilyinskaya O.I.

MAI, Moscow, Russia

The technology of monitoring and control systems for helicopter gas turbine engines is considered and the main technical data, operating conditions, requirements and functions of the advanced automatic control and monitoring unit (BARK) are presented. The technological capabilities of the monitoring system (with sensors of angular position) and automatic control when the appearance of different modes of engine operation are presented. A technology has been developed for tracking and monitoring the operation of a mechanical control system to improve the control efficiency of a helicopter propulsion system during testing.

The installation location of the tracking and control system of the mechanical control system of the helicopter and engines was selected taking into account the distance between the links and the installed sensors of the angular position - for more accurate reading of linear displacements of the control rods. The location of the specified control system was chosen inside the helicopter fuselage cockpit near the helicopter control wiring rods located.

This system allows you to track the position of all the controls of the helicopter and engines during testing. This allows you to understand at what flight modes - you need to make settings in the engine management system and more accurately configure the automatic control unit (BARK).

So in flight mode, the pilot controls the helicopter and uses a common-pitch knob and engine control, and all information about the movements of the pen and the correction of engine operation is transmitted through the angle sensor to the on-board measurement system (SBI).

According to the results of ground or flight tests, after receiving data from the BARK, the tracking system and monitoring the operation of the mechanical helicopter control system and SBI, changes are made to the adjustment of the control of the helicopter and engines to increase control efficiency at certain flight modes. This system is also used to transmit data from angle sensors to the emergency parameter registration system. The readings of these sensors are used in the investigation of an accident and for checking the compliance of engine power and the position of rods and engine control wiring. Thus, it is possible to track the alleged malfunction of the engine or engine management system.

Много микрофонный метод измерения импеданса ЗПК на интерферометре при нормальном падении звука

Ипатов М.С., Яковец М.А.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

В настоящее время для определения импедансных характеристик звукопоглощающих конструкций (ЗПК) во всем мире широко применяется двух микрофонный метод стоячих волн. Двух микрофонный метод используется для определения комплексного коэффициента отражения исследуемой конструкции, зная который, можно рассчитать акустический импеданс ЗПК.

При экспериментальном исследовании на интерферометре нормального падения присутствуют ошибки (погрешности) при измерении звукового давления и фаз на микрофонах. Погрешности измерений могут возникать из-за звуковых волн распространяющихся, коррелировано с основным сигналом, по жестко-стенным поверхностям установки в виде вибраций. При наличии в установке всего двух микрофонов, как в классическом двух микрофоном методе, невозможно проконтролировать значения восстановленного звукового поля по длине канала установки, так как значения восстановленных амплитуды и фазы в точности совпадут с экспериментальными данными. Еще одним недостатком классического метода является ограничения в области частот ниже 500 Гц. В связи с этим появляется необходимость увеличения числа микрофонов в канале установки.

В данной работе произведена модернизация классического двух микрофонного метода определения импеданса с помощью установки дополнительных микрофонов. Разработанный метод извлечения импеданса состоит в следующем. На выбранных частотах проводятся измерения при установленных 6 микрофонах в канале интерферометра. Для всех возможных вариаций пар микрофонов применяется классический двух микрофонный метод. Далее определяется пара микрофонов с наименьшим значением функционала на заданной частоте. Найденные наилучшие комплексные значения амплитуд падающей и отраженной волн используются в качестве стартовых значений для метода наименьших квадратов, в котором минимизируется целевая функция без точной привязки к экспериментальным значениям звукового давления.

По результатам экспериментальных данных можно сделать вывод, что значение функционала по методу наименьших квадратов всегда меньше значения функционала при выборе пары микрофонов. Разработанный метод повышает точность измерений в области резонансов, в которых при использовании лишь одной пары микрофонов наблюдались бы некорректные значения акустических характеристик. Данная работа выполнена при финансовой поддержке ФГУП «ЦАГИ» согласно приказу №265 от 30.06.2020 об организации работ по НИР «Разработка звукопоглощающих материалов с новыми геометрическими характеристиками», шифр «ЗПК», на 2020 г.

Multi-microphone method for measuring the impedance liner on an interferometer at normal sound incidence

Ipatov M.S., Iakovets M.A.
TsAGI, Zhukovsky, Russia

Currently, the two-microphone standing wave method is widely used worldwide to determine the impedance characteristics of sound-absorbing structures (liner). The two-microphone method is used to determine the reflection coefficient of the structure under study, knowing which, it is possible to calculate the impedance of the liner.

In an experimental study on a normal incidence interferometer, there are errors in measuring sound pressure and phases on microphones. Measurement errors may occur due to sound waves propagating, correlated with the main signal, along the rigidly-walled surfaces of the installation in the form of vibrations. If the install only two microphones, as in the classical two microphone method, it is impossible to control the values of the restored sound field along the duct length because the values of the recovered amplitude and phase exactly match with the experimental data. Another disadvantage of the classical method is the limitations in the frequency range below 500 Hz. This makes it necessary to increase the number of microphones in the installation duct.

In this paper, the classical two-microphone method for determining the impedance is upgraded by installing additional microphones. The developed method for extracting the impedance is as follows. At the selected frequencies, measurements are made with 6 microphones installed in the interferometer duct. For all possible variations of microphone pairs, the classic two-microphone method is used. Next, the pair of microphones with the lowest functional value at a given frequency is determined. The best complex values of the incident and reflected wave amplitudes found are used as starting values for the least squares method, which minimizes the objective function without exact reference to the experimental values of sound pressure.

Based on the results of experimental data, it can be concluded that the value of the functional using the least squares method is always less than the value of the functional when choosing a pair of microphones. The developed method improves the accuracy of measurements in the field of resonances, in which incorrect values of acoustic characteristics would be observed if only one pair of microphones were used. This work was carried out with the financial support of TsAGI in accordance with order №265 of 30.06.2020 on the organization of work on research "Development of sound-absorbing materials with new geometric characteristics", code "ZPK", for 2020.

Разработка СПД малой мощности с повышенным ресурсом

Калязин В.Г., Ким В.П., Меркурьев Д.В., Шилов Е.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Так, в настоящее время во многих странах ведется разработка СПД, которые предполагается применять в том числе, для миссий в дальний космос, где требуемые ресурсы двигателей составляют до 50000 часов. Проблемным является также обеспечение большого ресурса двигателей с мощностями 100-200 Вт из-за малых размеров двигателя и сложности оптимизации магнитного поля в разряде. С учетом изложенного ведутся разработки двигателей новых схем, позволяющих достичь требуемые ресурсы СПД.

Возможен и другой подход, развивающий использованные ранее технические решения, когда слой ионизации и ускорения полностью выносится в выходном направлении в расширенную на углы 40-45 градусов часть ускорительного канала по каждой из стенок за плоскостью полюсов магнитной системы [2]. При этом резко снижается скорость износа стенок и сохраняется часть запаса на износ стенок, а в пределе граница износа должна «останавливаться» на так называемой «граничной» магнитной силовой линии, обеспечивающей последующую магнитную защиту стенок разрядной камеры. Результаты эрозийных испытаний лабораторных моделей подтвердили, что зоны эрозии стенок разрядной камеры и основную часть СИУ удастся разместить в расширенной части ускорительного канала, а по начальной части зоны эрозии удастся определить положение «граничной» силовой линии, которая оказывается проходящей торцы стенок за пределами плоскости полюсов. Это служит предпосылкой обеспечения большого ресурса новых СПД.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка физико-технических основ проектирования плазменных двигателей с замкнутым дрейфом электронов на кryptonе для управления движением «малых космических аппаратов» совместно с ОКБ "Факел" и МГТУ им. Баумана в рамках Соглашения о предоставлении субсидии № 075-15-2019-1686 от 26.11.2019 г. Уникальный идентификационный номер RFMEFI60419X0212.

Литература:

1. Hofer R., Kamhavi H., Herman D. et al. Development Approach and Status of the 12,5 kW HERMES Hall Thruster for the Solar Electric Propulsion Technology Demonstration Mission // paper IEPC-2015-186 /ISTS-2015-b-186. 30th International Symposium on Space Technology and Science, 34th International Electric Propulsion Conference and 6th Nano-satellite Symposium. July 4 – 10, 2015. Kobe, Hyogo, Japan.

2. Kim V.P. О продольном распределении электрического поля в зонах ускорения плазменных ускорителей и двигателей с замкнутым дрейфом электронов // Физика плазмы, 2017, том 43, № 4, с. 1–13

Development of SPT of small power with increased lifetime

Kalyazin V.G., Kim V.P., Merkurev D.V., Shilov E.A.

MAI, Moscow, Russia

For example, many countries are currently developing the SPT, which is expected to be used, among other things, for missions in deep space, where the required resources of engines are up to 50,000 hours. It is also problematic to provide a large service life of 100-200 W thrusters due to small size of the engine and complexity of optimization of the magnetic field in discharge.

Another approach is possible, which develops the previously used technical solutions, when the ionization and acceleration layer is completely carried out in the output direction to the extended part of the acceleration channel at angles of 40-45 degrees through each of the walls behind the magnetic system pole plane [2]. At the same time, the rate of wall wear decreases dramatically and a part of the reserve for wall wear is preserved, while at the limit the wear limit should "stop" at the so-called "boundary" magnetic power line providing subsequent magnetic shielding of the discharge chamber walls. The results of the erosion tests of the laboratory models confirmed that the erosion zones of the discharge chamber walls and the main part of the IAL can be located in the extended part of the gas pedal channel, and the initial part of the erosion zone can be used to determine the position of the "boundary" power line, which turns out to be passing the ends of the walls outside the pole plane.

The work was carried out as part of the project "Development of physical and technical foundations for the design of plasma engines with closed electron drift on krypton to control the movement of small spacecraft" together with the Fakel Design Bureau and Bauman Moscow State Technical University within the Agreement on Subsidy No. 075-15-2019-1686 dated 26.11.2019 Unique identification number RFMEFI60419X0212.

References:

1. Hofer R., Kamhavi H., Herman D. et al. Development Approach and Status of the 12,5 kW HERMES Hall Thruster for the Solar Electric Propulsion Technology Demonstration Mission // paper IEPC-2015-186 /ISTS-2015-b-186. 30th International Symposium on Space Technology and Science, 34th International Electric Propulsion Conference and 6th Nano-satellite Symposium. July 4 – 10, 2015. Kobe, Hyogo, Japan.

2. Kim V.P. On the longitudinal distribution of electric field in the acceleration zones of plasma accelerators and thrusters with closed electron drift// Plasma Physics Reports, 2017. T. 43. № 4. С. 486-498.

Математическое моделирование электродинамики камеры сгорания ЖРД

Кассин Д.В., Зьонг М.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассмотрена камера сгорания (КС) ЖРД с топливом водород-кислород. Математическая модель задачи включает систему уравнений Эйлера или Навье-Стокса, дополненную термическим и калорическим уравнениями состояния, условиями термодинамического

равновесия, законами сохранения элементного состава и условием электронейтральности продуктов сгорания [1-3]. В результате численного решения задачи о горении стехиометрической смеси двухатомного водорода и двухатомного кислорода получены средние значения концентраций заряженных частиц в продуктах сгорания (ПС) при значениях давления в КС в интервале 5-20 Мпа. При этом температура ПС лежала в диапазоне 3500 - 3750 К. Равновесная концентрация электронов в продуктах сгорания изменялась в диапазоне 5 -1000 эксаметров в минус третьей степени.

С целью повышения концентрации заряженных частиц было исследовано влияние на нее впрыска щелочных металлов, обладающих относительно низким значением потенциала ионизации. При впрыске 1% Na по расходу концентрация электронов в ПС возросла и достигла значений 5000- 50000 эксаметров в минус третьей степени.

Поскольку высокая степень ионизации ПС имеет важное значение для контроля физических процессов в КС, предотвращения аварийных ситуаций, управления вектором тяги ЖРД, из результатов математического моделирования следует:

- Впрыск 1% Na увеличивает степень ионизации на 2-3 порядка;
- Повышение доли впрыска Na от 0.25 до 2 % увеличивает степень ионизации в 2 - 3 раза;
- При проведении дальнейших исследований следует учесть, что в ПС кроме электронов имеют место быть и отрицательно заряженные ионы в достаточно больших количествах.

Mathematical modeling of the electrodynamics of the LPRE combustion chamber

Kassin D.V., Duong M.D.

MAI, Moscow, Russia

The combustion chamber (CC) of a liquid-propellant rocket engine with hydrogen-oxygen fuel is considered. The mathematical model of the problem includes a system of Euler or Navier-Stokes equations, supplemented by thermal and caloric equations of state, conditions of thermodynamic equilibrium, laws of conservation of elemental composition and the condition of electroneutrality of combustion products [1-3]. As a result of the numerical solution of the problem of the combustion of a stoichiometric mixture of diatomic hydrogen and diatomic oxygen, the average values of the concentrations of charged particles in combustion products (PS) were obtained at pressures in the combustion chamber in the range of 5-20 MPa. In this case, the temperature of the PS was in the range of 3500 - 3750 K. The equilibrium concentration of electrons in the combustion products varied in the range of 5-1000 exaometers to the third degree.

In order to increase the concentration of charged particles, the effect on it of the injection of alkali metals having a relatively low ionization potential was investigated. With the injection of 1% Na, the concentration of electrons in the PS increased in terms of the flow rate and reached values of 5000-50,000 exaometers to the minus third degree.

Since the high degree of ionization of the PS is important for controlling the physical processes in the compressor station, preventing emergencies, and controlling the thrust vector of the liquid-propellant engine, from the results of mathematical modeling it follows:

- Injection of 1% Na increases the degree of ionization by 2-3 orders of magnitude;
- Increasing the proportion of Na injection from 0.25 to 2% increases the degree of ionization by 2 - 3 times;
- When carrying out further studies, it should be taken into account that, in addition to electrons, negatively charged ions in sufficiently large quantities also take place in the PS.

Влияние масштабного фактора на процесс горения диффузионных затопленных струй

Клюев А.Ю., Гурьянов А.И.

РГАТУ имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия

Высокоэффективные компактные электронные устройства для различных областей техники, часто требуют больших энергозатрат. Получившие популярность литий-ионные аккумуляторы имеют энергетическую плотность не более 200 Втч/кг [1,2] и не могут обеспечить длительное функционирование технического устройства на одном цикле заряда, что формирует спрос на источники энергии, обладающие более высокой плотностью энергии. Возможным вариантом является применение компактных источников энергии на

основе преобразования химической эксергии углеводородного топлива в тепловую энергию в микрокамере сгорания, а затем в электроэнергию. Энергетическая плотность углеводородного топлива в 40-75 раз выше, чем у литий-ионной батареи [3]. В работе исследовано влияние масштабного фактора на процесс горения. В качестве расчетной модели используется диффузионная затопленная струя. Для сравнения выбраны масштабы топливного канала: 10-2, 10-3, 10-4, м и воздушного канала 6·10-2, 6·10-3, 6·10-4 м соответственно. Топливо и окислитель, истекающие в атмосферу, взяты в стехиометрическом соотношении. Режим течения топливной и воздушной струй – ламинарный. Модель турбулентности – к-ε. В результате численного моделирования построены графики профилей полной температуры и относительной скорости. Максимальные значения температуры получены во фронте пламени, в области стехиометрического соотношения компонентов топливно-воздушной смеси. Относительная скорость принимает максимальное значение на центральной оси. Результаты показали эквивалентность профилей полной температуры и относительной скорости течения на исследованных пространственных масштабах.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение фундаментальных научных исследований на 2020 год и плановый период 2021 и 2022 годов (шифр научной темы 0774-2020-0004).

Литература:

1. Fernandez-Pello, A.C. Micropower generation using combustion: issues and approaches [Text] / A.C. Fernandez-Pello // Proceedings of the Combustion Institute 2002;29:883-99.
2. Kang, K. Electrodes with high power and high capacity for rechargeable lithium batteries [Text] / K. Kang, Y.S. Meng, J. Breger, C.P. Grey, G. Ceder // Science 2006;311(5763): 977-80.
3. Chou, S.K. Development of micro power generators – A review [Text] / S.K. Chou, W.M. Yang, K.J. Chua, J. Li, K.L. Zhang // National University of Singapore 2010;16.

Effect of scale factor on combustion process of diffusion flooded jets

Klyuev A.Y., Guryanov A.I.

RSATU, Rybinsk, Russia

Highly efficient compact electronic devices for various fields of technology often require high energy consumption. The popular lithium-ion batteries have an energy density of no more than 200 Wh / kg [1,2] and cannot ensure the long-term operation of a technical device on one charge cycle, which creates a demand for energy sources with a higher energy density. A possible option is the use of compact energy sources based on the conversion of the chemical exergy of hydrocarbon fuel into thermal energy in a micro-combustion chamber, and then into electricity. The energy density of the hydrocarbon fuel is 40-75 times higher than that of a lithium-ion battery [3]. The work investigates the influence of the scale factor on the combustion process. A submerged diffusion jet is used as a computational model. For comparison, the scales of the fuel channel were selected: 10-2, 10-3, 10-4, m and the air channel 6 · 10-2, 6 · 10-3, 6 · 10-4 m, respectively. Fuel and oxidant escaping into the atmosphere are taken in a stoichiometric ratio. The flow regime of the fuel and air jets is laminar. Turbulence model - k-ε. As a result of numerical simulation, the graphs of the profiles of the total temperature and relative velocity were constructed. The maximum temperature values were obtained in the flame front, in the region of the stoichiometric ratio of the components of the fuel-air mixture. The relative velocity takes the maximum value on the central axis. The results showed the equivalence of the profiles of the total temperature and the relative flow velocity on the studied spatial scales.

The work was carried out within the framework of the state assignment for the implementation of fundamental scientific research for 2020 and the planning period of 2021 and 2022 (scientific topic code 0774-2020-0004).

References:

1. Fernandez-Pello, A.C. Micropower generation using combustion: issues and approaches [Text] / A.C. Fernandez-Pello // Proceedings of the Combustion Institute 2002; 29: 883-99.

2. Kang, K. Electrodes with high power and high capacity for rechargeable lithium batteries [Text] / K. Kang, Y.S. Meng, J. Breger, CP. Gray, G. Ceder // Science 2006; 311 (5763): 977-80.
3. Chou, S.K. Development of micro power generators - A review [Text] / S.K. Chou, W.M. Yang, K.J. Chua, J. Li, K.L. Zhang // National University of Singapore 2010; 16.

Анализ работы сверхзвукового осесимметричного воздухозаборного устройства при высоких скоростях полета

Коваль С.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Важнейшим вопросом при проектировании перспективного летательного аппарата (ЛА) является разработка высокоэффективной силовой установки. Одним из факторов, влияющим на его эффективность, является выбор входного устройства. Таким образом, повышение требований к характеристикам силовой установки ЛА приводит к необходимости разработки пространственных воздухозаборников или воздухозаборников сложной формы.

Основными требованиями, предъявляемыми к входным устройствам, являются:

- Обеспечение высоких значений коэффициента сохранения полного давления.
- Создание равномерного потока на входе в двигатель.
- Минимальное аэродинамическое сопротивление.
- Минимальные габариты и вес.
- Обеспечение устойчивой и эффективной работы во всем требуемом диапазоне режимов полета и режимов работы двигателя.

Интерес к данной задаче обусловлен тем, что работа программы регулирования ВЗУ на различных режимах полета оказывает огромное влияние на рабочие характеристики ВЗУ и, как результат, силовой установки в целом. Выбор программы регулирования является одним из важнейших видов работ на этапе формирования исходных данных при проектировании силовых установок летательных аппаратов. Использование численного моделирования для решения различных газодинамических задач позволяет расширить диапазон исследования, а, следовательно, значительно сократить число экспериментов при отработке ВЗУ и, тем самым, существенно уменьшить затраты на создание подобных устройств. Одной из таких задач является определение характеристик воздухозаборного устройства (ВЗУ) в широком диапазоне скоростей полета летательных аппаратов.

В данной работе рассматривается сверхзвуковое осесимметричное трехскачковое воздухозаборное устройство внешнего типа сжатия численное моделирование которого проводилось в пакете прикладных программ для различных режимов работы ВЗУ. По результатам численного моделирования воздухозаборного устройства проведено сравнение с целью верификации расчётной модели, получено решение задачи с целью выявления точки оптимума по минимальным потерям на нерасчетном режиме работы ВЗУ путем изменения положения центрального тела без изменения его геометрии.

На основании полученных данных сделан вывод о том, что проведённый анализ подтверждает целесообразность и актуальность использования современных методов численного эксперимента в процессе проектирования узлов силовой установки ЛА.

Analysis of the operation of a supersonic axisymmetric air intake device at high flight speeds

Koval S.N.

MAI, Moscow, Russia

The most important issue in the design of a perspective aircraft is the development of a highly efficient power plant. One of the factors affecting its efficiency is the choice of air intake.

The interest in this task is due to the fact that the operation of the air intake control program in various flight modes has a huge impact on the performance of the air intake device and, as a result, the power plant as a whole. The choice of the regulatory program is one of the most important types of work at the stage of forming the initial data when designing the power plants of aircraft.

The engine inlets are designed to slow down the flow of air entering the engine. The main requirements imposed on input devices are:

- Ensuring high values of the total pressure retention coefficient.

- Creating a uniform flow at the engine inlet or the desired (permissible) irregularity.
- Minimal aerodynamic drag.
- Minimum dimensions and weight.
- Ensuring stable and efficient operation in the entire required range of flight modes and engine operating modes.

The use of numerical modeling to solve various gas-dynamic problems allows us to expand the research range, and therefore, significantly reduce the number of experiments when practicing an air intake device. One of these tasks is to determine the characteristics of an air in-take device in a wide range of flight speeds of aircraft.

In this paper, we consider a supersonic axisymmetric three-shock air intake device of an external type of compression, numerical simulation of which was carried out in an application package for various operating modes. Based on the results of numerical modeling of the air intake device, a comparison is made to verify the design model, a solution is obtained to determine the optimum point for minimum losses in the off-design operation mode of the air intake device by changing the position of the central body without changing its geometry.

Исследование влияния вида и параметров абляционных слоев на величину остаточных напряжений в образцах из сплава ВТ6, обработанных методом лазерного ударного упрочнения

¹Королев Д.Д., ¹Ляховецкий М.А., ¹Лесневский Л.Н., ²Волков М.В.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²ООО «НПП ВОЛО», г. Санкт-Петербург, Россия

Важной особенностью эксплуатации авиационной и космической техники является подверженность их деталей знакопеременным нагрузкам, обусловленных вибрацией. Такой режим работы деталей приводит к накоплению повреждений в их поверхностном слое и возникновению усталостных трещин. Для повышения предела выносливости таких элементов используются различные технологические методы: обкатка шариками и роликами, дробеструйное и гидродробеударное упрочнение, ультразвуковое (УЗ) упрочнение шариками, упрочнение облучением электронными и ионными пучками, и т.д. Эти методы имеют ряд недостатков, например, химическое взаимодействие с поверхностью детали, невозможность обработки тонкостенных изделий с достаточной величиной остаточных сжимающих напряжений, а также их невысокая глубина залегания. Наиболее перспективным методом, позволяющим получить уникальные свойства по величине и глубине залегания сжимающих остаточных напряжений, является метод лазерного ударного упрочнения.

Особенности технологического процесса лазерного ударного упрочнения включают необходимость нанесения абляционного слоя, который используется в качестве источника плазмы, при расширении которой образуется ударная волна; а также использования прозрачного, для лазерного излучения, слоя для переотражения ударной волны в сторону детали. Характеристики этих слоев имеют решающее влияние на получаемые характеристики поверхностного слоя обрабатываемой детали.

В работе рассматривались различные виды и параметры абляционного слоя, и их влияние на величину остаточных напряжений, глубину их залегания, а также на микро- и макрогеометрию поверхности после обработки. В качестве исходного материала был использован титановый сплав ВТ6. В качестве абляционного слоя были выбраны краски различных марок, а также алюминиевая лента.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0014.

Investigation of the influence of the type and parameters of ablation layers on the value of residual stresses in VT6 alloy specimens processed by laser shock peening

¹Korolev D.D., ¹Lyakhovetsky M.A., ¹Lesnevskiy L.N., ²Volkov M.V.

¹MAL, Moscow, Russia

²LLC "SPE FOLE", Saint-Petersburg, Russia

An important feature of the operation of aviation and space technology is the susceptibility of their parts to alternating loads caused by vibration. This mode of operation of parts leads to the accumulation of damage in their surface layer and the appearance of fatigue cracks. To increase the endurance limit of such elements, various technological methods are used: running in with balls and rollers, shot-blasting and hydro-impact hardening, ultrasonic hardening with balls, strengthening by irradiation with electron and ion beams, etc. These methods have a number of disadvantages, for example, chemical interaction with the surface of the part, the inability to process thin-walled products with a sufficient amount of residual compressive stresses, as well as their low depth of occurrence. The most promising method for obtaining unique properties in terms of the magnitude and depth of compressive residual stresses is the method of laser shock peening.

Features of the laser shock peening technological process include the need to apply an ablative layer, which is used as a source of plasma, during the expansion of which a shock wave is formed; as well as the use of a transparent layer for laser radiation to re-reflect the shock wave towards the part. The characteristics of these layers have a decisive influence on the resulting characteristics of the workpiece surface layer.

Various types and parameters of the ablation layer and their influence on the amount of residual stresses, the depth of their occurrence, as well as on the micro- and macro-geometry of the surface after processing were considered. Titanium alloy VT6 was used as the starting material. Various brands of paint and aluminum tape were selected as the ablative layer.

The work was performed as part of the state task of the Ministry of education and science of the Russian Federation, topic number FSFF-2020-0014.

Модернизация направляющего аппарата 4 ступени компрессора СД изделия НК-36СТ

¹Курс К.Е., ²Авдеев С.В.

¹ПАО «ОДК-Кузнецов», ²Самарский университет, г. Самара, Россия

Путь создания наземных газотурбинных двигателей посредством конверсии отработавших свой назначенный ресурс авиационных изделий имеет неочевидные недостатки, связанные с истощением ресурса элементов двигателя.

Газотурбинный двигатель НК-36СТ спроектирован и производится путем конверсии авиационных двигателей НК-25 и НК-32. В процессе увеличения суммарной наработки парка двигателей накоплена определенная статистика по дефектам, в том числе по компрессору.

В докладе рассмотрена конструкция направляющего аппарата 4 ступени компрессора среднего давления. Рассмотрено имеющееся в ней слабое место, не являющееся недостатком исходной авиационной конструкции и проявляющееся только в процессе достижения наработки, значительно превышающей изначально заложенный при проектировании узла ресурс. Недостаток выражается в повышенном уровне вибрационных напряжений в прикорневом сечении лопаток, связанном с неоптимальной организацией движения воздуха в 4 ступени компрессора. В процессе эксплуатации неоднократно отмечаются случаи поломки лопаток при работе двигателя с дальнейшим распространением обломков по газовоздушному тракту, что приводит к необратимому повреждению лопаточной части компрессоров среднего и высокого давления, появлению сильных забоин на теплозащитном покрытии лопаток турбин и жаровой трубы камеры сгорания.

Приведенная работа по модернизации ступени заключалась в перепрофилировании рабочей и направляющей лопаток 4 ступени, выпуске рабочей конструкторской документации, изготовлении материальной части и проведении ряда испытаний. Помимо лопаток,

относительно исходной конструкции были изменены также диск рабочего колеса, наружное и внутреннее кольца направляющего аппарата.

Изготовлен в одном экземпляре комплект деталей модернизированной ступени. Проведены испытания в составе изолированной установки компрессора среднего давления на стенде цеха поузловой доводки ПАО «ОДК-Кузнецов» с выполнением препарирования проточной части, а также с тензометрированием рабочих направляющих лопаток. Получен положительный эффект, выражающийся как снижении уровня вибрационных напряжений в лопатках, так и в повышении КПД ступени.

Modernization of the 4-stage guide vane of the medium pressure compressor of the NK-36ST

¹Kurs K.E., ²Avdeev S.V.

¹PJSC "UEC-Kuznetsov", ²Samara University, Samara, Russia

The way to create ground-based gas turbine engines by converting aircraft products that have spent their assigned resource has unobvious disadvantages associated with the exhaustion of the resource of engine elements.

The NK-36ST gas turbine engine was designed and manufactured by converting the NK-25 and NK-32 aircraft engines. In the process of increasing the total operating time of the engine park certain statistics have been accumulated on defects, including the compressor.

The report considers the design of the guide vane of the 4 stage of the medium pressure compressor. A weak point in it is considered, which is not a drawback of the original aircraft design and manifests itself only in the process of achieving an operating time that significantly exceeds the resource initially laid down in the design of the unit. The disadvantage is expressed in an increased level of vibration stresses in the root section of the blades, associated with the suboptimal organization of air movement in the 4-stage compressor. During operation, there have been numerous cases of blade breakage during engine operation with further propagation of debris along the gas-air path, which leads to irreversible damage to the blades of medium and high-pressure compressors, the appearance of strong nicks on the heat-protective coating of the turbine blades and the combustion chamber flame tube.

The given work on the modernization of the stage consisted of reprofiling of the working and guide blades of the 4th stage, the release of working design documentation, the manufacture of the material part and a number of tests. In addition to the blades, the impeller disc, the outer and inner rings of the guide vanes were also changed relative to the original design.

A set of parts for the upgraded stage was made in one copy. The composition of the insulated installation of the medium pressure compressor was tested at the stand of the unit-by-unit adjustment shop of PJSC "UEC-Kuznetsov" with the preparation of the flow path, as well as with strain gauging of the working guide blades. A positive effect is obtained, which is expressed as a decrease in the level of vibration stresses in the blades and in an increase in the efficiency of the stage.

Исследование и анализ распределения осевых сил в перспективном турбореактивном двухконтурном двигателе с форсажной камерой сгорания и оптимизация конструкции воздушной системы с целью увеличения ресурса подшипника ротора высокого давления

¹Малиновский И.М., ¹Нестеренко В.Г., ¹Стародумов А.В., ²Юсипов Б.Х., ¹Иванов И.Г.

¹МАИ, ²ОКБ им. А. Льюлки, г. Москва, Россия

Современные газотурбинные двигатели характеризуются крайне высокими значениями осевых сил, действующих на компрессор и турбину, что дополняется широчайшим спектром условий эксплуатации самолета, высокими темпами разгона-торможения и, по большей части, неуставившимися режимами работы.

Задача обеспечения оптимальной загрузки опор осевыми силами, в вышеперечисленных условиях, в значительной мере усложняется исключительно высоким заданным ресурсом работы двигателя на режимах с максимальной частотой вращения роторов (порядка 100 часов). Решение такой задачи требует анализа существующих систем.

В результате исследования различных двигателей выбран прототип газогенератора с высокой эффективностью воздушной системы. Согласно представленной методике произведен расчет осевых сил, действующих в двигателе прототипе на 4 различных режимах. По результатам расчета видно, что значения осевой силы, действующей на подшипник ротора высокого давления близятся к предельно допустимым для обеспечения требуемого ресурса. Предложены мероприятия по изменению распределения осевых сил в междисковой полости.

Для увеличения давления в полости, в осевых зазорах перед и за сопловым аппаратом турбины низкого давления установлены лабиринтные уплотнения. Чтобы получить большее значение осевой, действующей на диск сзади, отверстие между полостью за транзитным каналом и лабиринтом увеличено в диаметре вдвое. С такой же целью изменены диаметры расположения лабиринтов – это обеспечит распределение воздуха с большим давлением по поверхности с большей площадью, следовательно, позволит без значительного прироста в давлении получить ощутимое увеличение силы, действующей на заднюю часть диска турбины высокого давления, необходимое для снижения результирующей нагрузки на подшипник ротора высокого давления.

На предельных режимах применение лабиринтов в осевых зазорах позволило повысить давление в междисковой полости примерно на одну атмосферу, чего достаточно для уменьшения осевой силы в роторе высокого давления на несколько сотен килограмм-силы при максимальных оборотах. Подгонка площади подверженной воздействию самого высокого в полости давления, изменением расположения лабиринтов, позволила снизить суммарную нагрузку на подшипник ротора высокого давления почти на 1400 килограмм-силы, что обеспечит увеличение ресурса подшипника.

Research and analysis of axial forces in a promising turbojet bypass engine with an afterburner and optimization the air system's desing in order to increase the resource of the high-pressure rotor bearing

¹Malinovsky I.M., ¹Nesterenko V.G., ¹Starodumov A.V., ²Yusipov B.H., ¹Ivanov I.G.

¹MAI, ²A.Lyulka Design Bureau, Moscow, Russia

Modern gas turbine engines are characterized by extremely high values of axial forces acting on the compressor and turbine, which is complemented by the widest range of aircraft operating conditions, high acceleration and deceleration rates and unsteady operation modes.

The task of ensuring the optimal loading of the bearings by axial forces, under the above conditions, is significantly complicated by the extremely high-specified resource of the engine operation at modes with the maximum rotational speed of the rotors (about 100 hours). Decision of this problem requires an analysis of existing systems.

As a result of the research of various engines, a prototype engine with a high efficiency air system was selected. According to the presented technique, the calculation of the axial forces acting in the prototype engine in 4 different modes has been performed. The calculation results show that the values of the axial force acting on the high-pressure rotor bearing are close to the maximum permissible to ensure the required resource. Measures are proposed to change the distribution of axial forces in the interdisk cavity.

To increase the pressure in the cavity, labyrinth seals are installed in the axial clearances in front of and behind the vane of low pressure turbine. To obtain a greater value of the axial, acting on the disc from behind, the hole between the cavity behind the transit canal and the labyrinth is increased in diameter. For the same purpose, the diameters of the labyrinths arrangement have been changed - this will ensure the distribution of air with high pressure over a surface with a larger area, therefore, it will allow, without a significant increase in pressure, to obtain a noticeable increase in the force acting on the rear part of the high-pressure turbine disk, which is necessary to reduce the resulting load on high pressure rotor bearing.

At limiting operating modes, the use of labyrinths in the axial clearances made it possible to increase the pressure in the interdisk cavity by approximately one atmosphere, which is sufficient to reduce the axial force in the high-pressure rotor by several hundred kilogram-force at maximum

rotor speed. Adjusting the area exposed to the highest pressure in the cavity, by changing the location of the labyrinths, made it possible to reduce the total load on the high-pressure rotor bearing by almost 1400 kilogram-force, which will ensure an increase in the bearing resource.

Оценка влияния ориентации укладки слоёв композитного материала на свойства теплового контакта

Мартынюк Л.А., Талалаева П.И., Ежов А.Д., Сладков И.С., Голиков Н.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Повышение эффективности энергетических установок зачастую связано с повышением температуры в рабочей зоне. В такой ситуации инженерам требуется исследовать новые материалы, которые целесообразно применить при разработке перспективных изделий.

Композиты на основе углерод-керамики обладают высоким потенциалом, который возможно использовать в производстве многих деталей турбины. Применение углеродных волокон для армирования позволяет получить различные теплофизические характеристики материала, уже на этапе проектирования закладывать необходимые прочностные характеристики детали. Меняя чередование слоев и укладку нитей наполнителя, можно наиболее эффективно использовать материал в конструкции.

Для стабильного функционирования изделия необходимо обеспечение штатного теплового режима, который во многом определяется величиной контактного термического сопротивления (КТС) и межконтактного давления между отдельными элементами турбины. Одной из актуальных задач при проектировании и изготовлении двигателя является максимальное использование композиционных материалов с заданными свойствами.

Эксплуатационные режимы энергетической установки должны приводить, и приводят к возникновению деформаций деталей, величина которых может быть рассчитана в результате механического анализа. При этом значения эквивалентных напряжений в районе сопрягаемых деталей также могут быть получены в результате расчета.

Существующие аналитические расчетные зависимости определения КТС для контактных пар металл-композит основаны на достаточно специфических условиях контактирования и свойств композиционных материалов, не учитывающие особенности технологии их производства. В связи с этим значения КТС имеют достаточно большой разброс по данным.

Достоверное определение значений температурных полей в соединениях разнородных материалов конструкции можно получить при использовании методики, учитывающей реальный рельеф микронеровностей контактирующих поверхностей. Данный подход был успешно применен и апробирован на контактной паре композит-металл.

Следует отметить, что с увеличением температуры величина КТС падает и стремится к близким значениям вне зависимости от направления армирующих волокон. Уменьшение величины КТС при увеличении температуры в зоне контакта можно объяснить изменением коэффициента теплопроводности материалов и увеличением сжимающего давления за счет линейного расширения контактирующих деталей при нагреве.

Assessment of influence orientation stacking layers of composite material on the thermal contact properties

Martynuk L.A., Talalaeva P.I., Ezhov A.D., Sladkov I.S., Golikov N.S.
MAI, Moscow, Russia

Increasing the efficiency of power plants is often associated with an increase in temperature in the working area, which requires engineers to research new materials that can be used in the development of promising products.

Composites based on carbon-ceramics have a high potential, which can be used in the production of many parts of a turbine. The use of carbon fibers for reinforcement makes it possible to obtain various thermophysical characteristics of the material, and already at the design stage to lay down the necessary strength characteristics of the part. the most effective use of material in the design.

For the stable operation of the product, it is necessary to ensure the standard thermal regime, which is largely determined by the value of the thermal contact resistance (TCR) and the contact

pressure between the individual elements of the turbine. One of the urgent tasks in the design and manufacture of an engine is the maximum use of composite materials with specified properties.

The operating modes of the power plant must lead and lead to the occurrence of deformations of parts, the magnitude of which can be calculated as a result of mechanical analysis. In this case, the values of the equivalent stresses in the region of the mating parts can also be obtained as a result of the calculation.

The existing analytical calculated dependencies for determining the TCR for metal-composite contact pairs are based on rather specific contact conditions and properties of composite materials, which do not take into account the peculiarities of their production technology. In this regard, the values of the TCR have a fairly large spread in the data.

A reliable determination of the values of temperature fields in the joints of dissimilar materials of construction can be obtained using a technique that takes into account the real relief of microroughness of the contacting surfaces. This approach has been successfully applied and tested on a composite-metal contact pair.

It should be noted that with an increase in temperature, the TCR value decreases and tends to close values regardless of the direction of the reinforcing fibers. A decrease in the TCR value with increasing temperature in the contact zone can be explained by a change in the thermal conductivity coefficient of materials and an increase in the compressive pressure due to the linear expansion of the contacting parts during heating

Совершенствование параметров и конструкции силовой установки газотурбинного авиационного двигателя для легкой авиации пятого поколения ВК-650В

Матушкин А.А., Мещеряков В.Ю., Опенкин А.В., Эркинов А.А., Фролов Л.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Создание семейства двигателей на базе газотурбинного авиационного двигателя для легкой авиации ВК-650В является инструментом выполнения поставленной государством задачей, нацеленной на развитие национальной авиатранспортной сети, использующей легкую авиацию, что является особо острым вопросом в отношении таких регионов как Сибирь и Дальний Восток.

Процесс разработки ВК-650В ориентировался на создание современного надежного, легкого и недорогого решения, способного составить конкуренцию зарубежным аналогам, таким как Pratt & Whitney PW207 и семейство Arius компании Safran Helicopter Engines. Уровень параметров двигателя выбран исходя из условия применения отработанной модели центробежного компрессора и одноступенчатых неохлаждаемых турбин. Данные особенности позволяют упростить конструкцию двигателя, а также снизить затраты на его производство и эксплуатацию. Высокие характеристики основных узлов, в свою очередь, позволяют двигателю добиться высокого уровня топливной экономичности.

Имея в наличии множество характеристик, отвечающих современным нормам и требованиям, разработка двигателя, однако, стартовала много ранее выхода двигателя на стендовые испытания, в начале 2000-х годов. Первые стендовые испытания турбовальной версии двигателя стартовали в начале 2008 года, а турбовинтовой – лишь в 2018. В период с 2008 по 2018-й год концепция двигателя принципиально не менялась.

В данной работе предложен способ повысить экономичность топливной системы за счет увеличения степени повышения давления в компрессоре. Предложено использование высокотемпературных керамических композитных материалов в секциях турбины, позволяющих существенно снизить потери на охлаждение, а также повысить надежность узлов и снизить их массу.

Propulsion unit design and characteristics enhancement for VK-650V gas-turbine fifth-generation light aircraft engine

Matushkin A.A., Mescheryakov V.Y., Openkin A.V., Erkinov A.A., Frolov L.A.
MAI, Moscow, Russia

The inception of a family of engines based around the gas-turbine light aircraft VK-650V serves as an instrument in reaching a state-initiated trend of further developing the national air transport network, which is a solid concern specifically regarding regions such as Siberia and the Far East.

The development process of the VK-650V was oriented towards creating a modern, reliable, light-weight and inexpensive solution capable of competing with foreign counterparts, such as the Pratt & Whitney PW207 and the Arius engine family courtesy of Safran Helicopter Engines. The characteristics margin was selected according to a proven design model, which involves a centrifugal compressor in tie with single-stage uncooled turbines. Such features allow to simplify the design, as well as reduce production and operation costs. At the same time, sufficiently high characteristics of main units allows the engine to achieve high fuel efficiency levels.

While having a plethora of traits in line with modern norms and requirements, the engine's development started a number of years prior, in the beginning of 2000s. The first bench runs involved the turboshaft version of the engine, and took place around the start of 2008, while the turboprop version didn't get off the ground until much later – in 2018. Between 2008 and 2018, the core concept of the engine did not undergo any drastic changes.

This work proposes a method of increasing the efficiency of the engine's fuel system through increasing the overall pressure ratio (OPR) inside the compressor. Use of high-temperature resistant ceramic composite materials is proposed for sections of the turbine, which allows for significant reduction in cooling losses and an increase in unit reliability and weight efficiency.

Анализ возможности возобновления исследования коллоидных двигателей на стендовой базе МАИ

Мельников А.В., Обухов В.А., Пейсахович О.Д., Хартов С.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Развитие электроники сделало возможным создание миниатюрных спутников (например, «Кубсаты» версии 1U имеют размер 10 x 10 x 11 см и массу около 1,33 кг), позволяющих проводить полноценные научные исследования, вести мониторинг Земли или осуществлять телекоммуникацию. Использование таких наноспутников значительно сокращает время и стоимость разработки, а также открывает возможность вывода целой группировки космических аппаратов за один запуск. Однако, при этом возникает необходимость в разработке компактных и энергоэффективных двигательных установок с низким энергопотреблением, которые будут осуществлять разведение этих спутников по рабочим точкам и обеспечивать поддержание требуемой пространственной ориентации в течение всего жизненного цикла аппарата. Наиболее подходящим типом двигателя с учётом ограничений по энерговооружённости является коллоидный двигатель, потребление мощности которого может быть менее 5 Вт.

Принцип работы коллоидного двигателя основан на электростатическом распылении электропроводной жидкости с помощью капиллярных трубок и дальнейшем ускорении образовавшихся наноразмерных капель в электростатическом поле. Таким образом рабочий процесс этого типа двигателя не приводит к выделению большого количества тепла, что положительно сказывается при компоновке наноспутников.

Исследования коллоидных двигателей в МАИ были приостановлены в 2005 году в связи с отсутствием спроса на эти устройства в космической отрасли. Однако современные тенденции развития космических аппаратов привели к необходимости возобновления работы в этом направлении.

Проведённый анализ требуемых параметров стенда для экспериментальных исследований коллоидных двигателей с актуальными на сегодняшний день характеристиками показал, что сохранившейся стендовая база может быть использована для возобновления работ при некоторой доработке. Имеющиеся системы вакуумной откачки и подачи жидкости

полностью соответствуют необходимым требованиям. Доработка на стенде требуется для системы водоснабжения и электропитания. Кроме того, в состав стенда необходимо будет ввести высоковольтный блок питания, который сможет поддерживать потенциал 5-10 кВ при токе до 1 мА.

Доработка стенда позволит проводить экспериментальные исследования для восстановления, а в перспективе и повышения уровня технологической отработки коллоидных двигателей в МАИ.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта по госзаданию № FSFF-2020-0014.

Analysis of the possibility of resumption the study of colloid thrusters at the MAI test facilities base

Melnikov A.V., Obukhov V.A., Peysakhovich O.D., Khartov S.A.
MAI, Moscow, Russia

The development of electronics has made it possible to create miniature satellites (e.g. "KubSats" version 1U) have a size of 10 x 10 x 11 cm and a mass of about 1.33 kg), which allow to conduct full scientific research, to perform Earth monitoring or to carry out telecommunications. The use of such nanosatellites significantly reduces development time and costs, and also opens up the possibility of launching an entire grouping of spacecrafts in one launch. However, the need to develop compact and energy-efficient propulsion systems with low energy consumption is arisen that will carry out the separation of these satellites at operating points and provide the maintenance of the required spatial orientation throughout the entire life cycle of the spacecraft. Given that the power supply capacity is limited the most appropriate type of thruster is a colloid thruster, which power consumption can be less than 5 W.

The principle of operation of the colloid thruster is based on the electrostatic spraying of electroconductive liquid using capillary tubes and further acceleration of the formed nanosize droplets in the electrostatic field. Thus, the working process of this thruster type does not generate a large amount of heat, which has a positive effect on the layout of nanosatellites.

Research on colloid thrusters at the MAI were suspended in 2005 due to the absence of demand for these devices in the space industry. However, current trends in spacecraft development have led to the need to resume work in this direction.

The analysis of the required parameters of the test facility for experimental studies of colloid thrusters with current characteristics has shown that the remaining test facility base with some revision can be used to resume work. The available vacuum pumping and liquid supply systems fully satisfy the necessary requirements. Improvement at the test facility is required for the water and power supply system. In addition, a high-voltage power supply, which will be able to maintain a potential of 5-10 kV with a current of up to 1 mA will need to be introduced into the test facility.

The revision of the test facility will make it possible to carry out experimental research for the restoration and, in the future, for the increase of the level of technological development of colloid thrusters at the MAI.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of the "Goszadanie" grant number FSFF-2020-0014.

Особенности компоновки и расчета массы космического аппарата с лазерной энергетической установкой

Метельников А.А., Авдеев А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Лазерные энергетические установки (ЛЭУ) на основе твердотельных лазеров рассматриваются сегодня для решения задач дистанционной передачи энергии на приемные антенны энергетических установок искусственных спутников Земли и очистки околоземного пространства от опасных фрагментов космического мусора (ФКМ). Размещение ЛЭУ на борту космических аппаратов (КА) значительно расширяет их функциональные возможности.

Для обеспечения работы ЛЭУ, решающей задачу передачи энергии или очистки околоземного пространства от опасных ФКМ, требуется генерировать на борту КА электрическую мощность 30...150 кВт, что делает ее основной подсистемой, определяющей весь облик космического аппарата, а также требования к его техническим характеристикам. Одной из таких характеристик является масса космического аппарата.

В настоящей работе приведены соотношения, позволяющие рассчитать массу космического аппарата и его основных подсистем для заданного режима работы бортовой лазерной установки. Предложена методика, позволяющая выбрать ее режим работы при решении задачи очистки заданной орбиты от опасных ФКМ с наибольшим поперечным размером от 1 см до 10 см при помощи лазерно-абляционного механизма воздействия.

Сформулирован структурный облик КА с ЛЭУ и на основании предложенных соотношений и методики проведены расчеты его массы для случаев базирования на орбитах с высотами 400...1600 км. На основе полученных результатов сформулированы рекомендации по выбору типа систем генерации электрической энергии (СЭП) КА с ЛЭУ, решающей задачу очистки околоземного пространства от опасных ФКМ на выбранных орбитах:

- При базировании КА с ЛЭУ на орбитах с высотами менее 800 км или при ограничении его массы величиной 6 т, рекомендуется использовать СЭП на основе солнечных батарей.
- При базировании КА с ЛЭУ на орбитах с высотами более 800 км и при режиме ее работы с мощностью лазерного излучения, эквивалентной мощности лазерного излучения в непрерывном режиме более 10 кВт, рекомендуется использовать СЭП на основе ядерных энергетических установок.

Features of the design and mass evaluation of the spacecraft with laser power plant

Melnikov A.A., Avdeev A.V.

MAI, Moscow, Russia

Laser Power Plants (LPP) based on Solid state lasers are considered to solve problems of remote energy transmittance to the receiving antennas of power installations of artificial earth satellites and the cleaning of near-Earth space from dangerous space debris today. Placing a laser plant on board of spacecraft (SC) significantly expands their functionality.

To provide the operation mode of the LPP for transferring energy or cleaning the near-Earth space from dangerous space debris required to generate on board the spacecraft an electric power of 30...150 kW. This one makes LPP the main subsystem which determines the entire appearance of the spacecraft, as well as the requirements for its technical characteristics. This one makes LPP the main subsystem which determines the design of the spacecraft, as well as the requirements for its technical characteristics. The one of them is mass of the spacecraft.

In this paper is presented relations for evaluate mass of the spacecraft and its main subsystems, which required to provide the onboard laser plant work mode. Methodology of choice onboard laser plant work mode for removing dangerous space debris (largest size from 1 to 10 cm) with laser ablation mechanism is presented.

The structure of spacecraft with an LPP has been designed. With presented relations and methodology mass of spacecraft with laser plant are evaluated. With presented relations and methodology mass of spacecraft with laser plant with its orbit altitudes 400 km ... 1600 km are evaluated. Based on this results recommendation for choosing type of an onboard generating electrical energy system are given:

- For spacecraft with laser plant with orbit altitudes less than 800 km or with limit mass of 6 ton onboard generating electrical system based on solar power plant is recommended.
- For spacecraft with laser plant with orbit altitudes more than 800 km and with operation mode equivalent to LPP in a continuous mode of more than 10 kW onboard generating electrical system based on nuclear power plant is recommended.

Интеграция решателя уравнений Навье-Стокса в программное обеспечение расчета осевого компрессора ГТД

Минин А.К., Боровиков Д.А., Ионов А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Сегодня существуют множество различных расчетных комплексов, предназначенных для проектировочных расчетов компрессоров ГТД. Большинство из них основаны на одномерных и двухмерных полумпирических методиках и требуют существенной доводки при проектировании.

Следующим этапом развития методик проектировочных расчетов может быть интеграция с решателем уравнений Навье-Стокса и оптимизатором.

Целью этой работы является усовершенствования ранее созданной программы двухмерного расчета осевого компрессора [1]. Алгоритм проектирования ранее обрабатывался на примере лопатки вентилятора [2]. Написание осуществлялось на языке C#, графический интерфейс основывался на технологии WPF.

На основе геометрии проточной части и профилей из 1D и 2D расчетов по высоте лопаток строится расчетная сетка. Компрессор рассчитывается в двухмерном варианте по высоте. Такая постановка позволяет учесть взаимодействие лопаток, обеспечить достаточную скорость и точность решения. Узконаправленность методики обеспечивает стабильное и качественное построение сетки, упрощает пользователю выбор применяемых моделей [3].

За счет удобного формата входных данных, описывающих профиль лопатки в виде координат слайна, интеграции сеткопостроителя с 2D расчетом и малого размера сетки существует возможность заключить расчет в цикл оптимизации в том числе с помощью внешних оптимизаторов, например IOSO. Также такая постановка позволяет эффективно применять параллельные расчеты, в том числе планируется использование в расчетах GPU [3].

В результате разрабатываемый программный комплекс позволит получать оптимизированные лопатки многоступенчатого компрессора ГТД с учетом условий работы и их взаимодействия с высокой степенью автоматизации.

Литература:

1. Д. А. Боровиков, И. Н. Боровик, А. В. Ионов, А. К. Минин Разработка методики и программного обеспечения сквозного проектирования малоразмерных воздушно-реактивных двигателей // Вестник РГТА им. П. А. Соловьева №4. 2019.
2. Боровик И. Н., Боровиков Д. А., Ионов А. В., Тезиков С. Е. Разработка и анализ характеристик двухконтурного малоразмерного воздушно-реактивного двигателя. // Вестник РГТА им. П. А. Соловьева №3. 2019.
3. Маркин Е. Е., Скачков П. П. Гетерогенные параллельные вычисления на примере решения полной системы уравнений Навье-Стокса методом сеток. //Международный студенческий научный вестник. Изд-во: ООО «Информационно-технический отдел Академии Естествознания. 2017 г.

Integration of the Navier-Stokes equations solver into the axial compressor design software

Minin A.K., Borovikov D.A., Ionov A.V.
MAI, Moscow, Russia

Most of existing compressor design software are based on one and two-dimensional semi-empirical algorithms, and require significant compressor design refinement.

The purpose of this work is to integrate the Navier-Stokes equations solver into two-dimensional axial compressor design software [1]. The design algorithm is tested on the example of a supersonic fan blade [2]. Software is designed in C #, the graphical interface is based on WPF technology.

Based on the flow path geometry and airfoils, a computational grid is generated along the blades height. The compressor is calculated in two-dimensions by blade sections. This allows to take into account the blades interaction and to ensure sufficient speed and accuracy of the solution. The narrow focus of the software provides a stable, high-quality mesh generation and simplifies the models choice.

Due to the input data format describing the blade profile in the form of spline coordinates, the mesher integration with the 2D calculation, and the small mesh size, it is possible to apply an optimization software, for example using IOSO. Also, it allows to effectively use parallel calculations, including on the GPUs [3].

As a result, the software allows to obtain optimized blades of a multistage GTE compressor, taking into account the operating conditions and their interaction with a high degree of automation.

References:

1. Д.А. Боровиков, И.Н. Боровик, А.В. Ионов, А.К. Минин Разработка методики и программного обеспечения сквозного проектирования малоразмерных воздушно-реактивных двигателей. [Technique and software development for end-to-end design of small-sized air jet engines]//Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьёва №4. 2019.

2. Боровик И.Н., Боровиков Д.А., Ионов А.В., Тезиков С.Е. Разработка и анализ характеристик двухконтурного малоразмерного воздушно-реактивного двигателя. [Development and characteristics analysis

of a bypass small-sized air jet engine]// Вестник РГАТУ им. П. А. Соловьёва №3. 2019.

3. Маркин Е.Е., Скачков П.П. Гетерогенные параллельные вычисления на примере решения полной системы уравнений Навье-Стокса методом сеток. [Heterogeneous parallel computations on the example of solving the complete system of Navier-Stokes equations by the method of grids.]//Международный студенческий научный вестник. Изд-во:ООО «Информационно-технический отдел Академии Естествознания». 2017 г.

ТРДД большой степени двухконтурности реактивных самолётов лёгкой и средней магистральной авиации бизнес класса, проектируемые с использованием базовых газогенераторов

Нестеренко В.Г., Малиновский И.М., Иванов И.Г., Захаров Д.П.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается технология проектирования малоразмерных авиационных ТРДД большой степени двухконтурности, предназначенных для лёгких и средних самолётов бизнес класса, которые должны иметь высокую экономичность, надёжность и малую массу. С целью сокращения времени их создания на первом этапе этой работы выполняется поиск и модернизация базового газогенератора, поскольку за время его применения появились новые и прогрессивные конструкторские и технологические решения, улучшающие его характеристики. Показана последовательность и содержание отдельных этапов проектирования ТРДД различных параметров: тягой 1000 (1200) и 2000 (2600) кгс, где первые значения тяги (до скобок) – это тяга при стандартной температуре наружного воздуха 288 К, а в скобках, увеличенное значение тяги в стандартных условиях так, чтобы в жаркий день, при температуре 315К, величина тяги ТРДД сохраняла её исходные значения. В результате выполненных расчётов получено, что при проектировании этих размерностей ТРДД можно использовать газогенераторы ТВЛД, мощностью 650...800 л.с. и 2500...2800 л.с. Были проанализированы характеристики ТРДД фирмы Роллс-Ройс RTM.322 - 20, тягой 1000 кгс, с небольшой степенью двухконтурности, $m = 3,4$, в котором установлен газогенератор ТВЛД RTM.322 - 01. Частота вращения его ротора небольшая, 36300 об./мин, поэтому этот ТРДД имеет недопустимо большую массу, равную 256 кгс. Для её снижения необходимо увеличить частоту вращения ротора, как это реализовано в ТВЛД MTM.385 - R фирм MTU/ Турбомека, и ARRIUS фирмы Турбомека, где имеется высокая частота вращения ротора газогенераторов 45000 и 58000 об./мин соответственно. Турбина газогенератора должна быть охлаждаемой с высокой температуры газа перед турбиной порядка 1500 К. С целью получения высокого КПД разработано центробежное колес газогенератора с покрывным диском и лопатками, загнутыми против направления вращения. Диффузор трубчатый. Выполнены прочностные расчёты в системе ANSYS, позволившие уточнить толщины и конфигурацию пера лопаток ЦБК в месте их соединения с покрывным диском. Рабочие лопатки вентилятора ТРДД могут проектироваться сплошными или полыми, а его рабочее колесо – по типу «блиск», единой деталью. Корпус вентилятора

может быть изготовлен из углепластика, что позволяет увеличить его жесткость и уменьшить радиальные зазоры, повысить усталостную прочность, коррозионную стойкость и изготавливать этот корпус при минимальной механической

High-bypass turbofan engine for light and medium-haul jet aircraft business aviation, designed using basic gas generators

Nesterenko V.G., Malinovsky I.M., Ivanov I.G., Zaharov D.P.
MAI, Moscow, Russia

The technology of design of small-sized aircraft turbofan engines with a large bypass ratio, intended for light and medium-sized business class aircraft, which should have high efficiency, reliability and low weight, is considered. In order to reduce the time of their creation, at the first stage of this work, the search and modernization of the basic gas generator is carried out, since during its use new and progressive design and technological solutions have appeared, which can significantly improve its characteristics. The sequence and content of the individual stages of the design of the turbofan of various parameters are shown: thrust 1000 (1200) and 2000 (2600) kgf, where the first thrust values (up to brackets) are thrust at a standard outdoor temperature of 288 K, and in brackets, the increased thrust value under standard conditions so that on a hot day, at temperature of 315K, the magnitude of the thrust of the turbofan engine retained its original values. As a result of the calculations performed, it was found that when designing these dimensions of the turbofan engine, it is possible to use TSh gas generators with a capacity of 650 ... 800 hp. and 2500 ... 2800 hp The characteristics of the Rolls-Royce turbofan engine RTM.322 - 20, 1000 kgf thrust, with a small bypass ratio, $m = 3.4$, in which the TSh RTM.322 - 01 gas generator is installed, were analyzed. The rotational speed of its rotor is low, 36300 rpm., so this turbojet engine has an unacceptably large mass equal to 256 kgf. To reduce it, it is necessary to increase the rotor speed, as it is implemented in the MTM.385 - R high-speed turbine produced by MTU / Turbomeka and ARRIUS by Turbomeka, where there is a high rotor speed of the gas generators 45000 and 58000 rpm, respectively. The turbine of the gas generator must be cooled with a high gas temperature in front of the turbine of about 1500 K. In order to obtain high efficiency, a centrifugal gas generator wheel with a cover disk and blades bent against the direction of rotation has been developed. The diffuser is tubular. Strength calculations were carried out in the ANSYS system, which made it possible to clarify the thickness and configuration of the airfoil of the blades of the pulp and paper mill in the place of their connection with the cover disk. The turbine engine fan rotor blades can be designed as solid or hollow, and its impeller is of the blisk type, as a single piece.

Исследование влияния направления выращивания образцов из стали 12X18H10T, полученных методом селективного лазерного сплавления (SLM), на фреттинг-износ в условиях полного и частичного проскальзывания

Николаев И.А., Селиверстов С.Д., Лесневский Л.Н., Кожевников Г.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время, большое распространение получают аддитивные технологии при производстве элементов двигателей летательных аппаратов. Данные технологии позволяют получить сложнопрофильные детали и конструкции при меньших трудозатратах на их производство, по сравнению с традиционными технологиями изготовления. Однако для успешного использования аддитивных технологий необходимо обширное исследование свойств получаемых материалов: физических, механических, технологических и эксплуатационных.

В данной работе рассмотрена проблема фреттинг-износа поверхностей деталей двигателя, возникающая при малых перемещениях поверхностей друг относительно друга и высоких давлениях в зоне контакта, что приводит к развитию микротрещин и спонтанному выходу из строя деталей раньше времени.

Для исследования были изготовлены образцы из стали 12X18H10T в виде пластин методом селективного лазерного сплавления (SLM) на двух режимах: 0 и 90 градусов к плоскости печати. Также был изготовлен аналогичный образец методом фрезерования из металлического прутка, полученного методом проката той же марки стали. Трибологические

испытания проводились на разработанной в МАИ машине трения 1401 при постоянной нормальной нагрузке $F_n=1N$ и фиксированном перемещении в 5мкм, что соответствовало режиму частичного проскальзывания (partial slip) и полного скольжения (gross slip). Тип контактного взаимодействия сфера/плоскость. В качестве контртела использовалась сфера из оксида алюминия. Величина объемного износа пятен определялась с помощью конфокального интерференционного микроскопа Olympus LEXT OLS 5000. Для анализа микроструктуры и элементного состава поверхностей исследуемых материалов применяются методы сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного микроанализа с использованием установки Carl Zeiss EVO-40 и приставки EDS INCA X-ray Oxford instr. Полученные результаты показали, что разброс значений коэффициента трения не превышал 8% между образцами, полученными методом SLS и традиционным методом. Разброс величины объемного износа так же не превышал 10 %.

Investigation of the influence of the growing direction of 12X18H10T steel samples produced with selective laser melting (SLM) on fretting wear under conditions of complete and partial slippage

Nikolaev I.A., Seliverstov S.D., Lesnevskiy L.N., Kozhevnikov G.D.
MAI, Moscow, Russia

At present, additive technologies are widely used in the production of aircraft engine elements. These technologies allow to get complex parts and structures with less labor costs for their production, compared to traditional manufacturing technologies. However, for the successful use of additive technologies, an extensive study of the properties of the resulting materials is necessary: physical, mechanical, technological and operational.

In this paper considered the problem of fretting wear on the surfaces of engine parts, which occurs when the surfaces move slightly relative to each other and high pressures in the contact zone, which leads to the development of microcracks and spontaneous failure of parts ahead of time.

For the study, samples were made of 12X18H10T steel in the form of plates by selective laser melting (SLM) in two modes: 0 and 90 degrees to the printing plane. A similar sample was also made by milling from a metal bar obtained by rolling the same grade of steel. Tribological tests were carried out on the 1401 friction machine developed at MAI at a constant normal load $F_n=1N$ and a fixed displacement of 5 micrometers, which corresponded to the partial slip and full slip modes (gross slip). Type of contact interaction is sphere/plane. An aluminum oxide sphere was used as a counterbody. The volume wear of the spots was determined using an Olympus LEXT OLS 5000 confocal interference microscope. To analyze the microstructure and elemental composition of the surfaces of the materials under study, scanning electron microscopy and energy-dispersive microanalysis methods are used using the Carl Zeiss EVO-40 unit and the EDS INCA X-ray Oxford instr prefix. The results showed that the spread of the friction coefficient values did not exceed 8% between the samples obtained by the SLM method and the traditional method. The dispersion of the values of volumetric wear rates did not exceed 10 %.

Изучение газодинамики камеры сгорания газотурбинного двигателя при влиянии несимметричности входной скорости

Носкова К.Р.

РГАТУ имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия

Проведено расчетно-экспериментальное исследование камеры сгорания (КС) ГТД при условии совместного влияния входной несимметричности профиля скорости и перераспределения рабочего тела по основным и охлаждающим отверстиям на газодинамику и гидравлические потери в КС.

По результатам численных расчетов выяснено, что при коэффициенте несимметричности входной скорости K , равному больше или меньше единицы, который определяется как отношение среднерасходных скоростей в верхнем и нижнем полуканалах диффузора, наблюдается смещение потока в наружный или внутренний кольцевые каналы. Это приводит к уменьшению эффективности охлаждения жаровой трубы (ЖТ), равномерности

распределения воздуха во фронтальном устройстве, снижается качество перемешивания топливовоздушной смеси, на выходе из ЖТ формируется неравномерное распределение линий тока, а это может отрицательно сказаться на работе турбины.

Минимальное значение коэффициента гидравлических потерь при $K = 1$, а при его отклонении от 1 коэффициент возрастает.

При совместном влиянии перераспределения расхода воздуха по отверстиям в ЖТ и несимметричности скорости выявлено, что входная несимметричность течения является наиболее важным фактором, определяющим качественную структуру течения во всех элементах КС.

Поэтому при проектировании камеры важным моментом является сохранение K , близким к 1, что позволяет обеспечить максимально полную величину давления на выходе из КС и соответственно минимум гидравлических потерь.

Для верификации численных расчетов проведены экспериментальные исследования на модели проточной части камеры сгорания по визуализации структуры. Использованы системы подкрашенных струй и ламинарное течение в гидрлотке. Для сравнения численных исследований с экспериментами проведены дополнительные численные расчеты при том же режиме течения. Опытная проливка в гидравлическом лотке подтвердила адекватность применяемых моделей численных расчетов структуры течения в проточной части.

Для сравнения численных исследований при расчетном режиме течения необходимо провести эксперименты с помощью цифрового метода трассерной визуализации, который в настоящее время является наиболее перспективным. Поэтому выполнена методика PIV с описанием опытной модели КС для проведения опытов.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение фундаментальных научных исследований на 2020 год и плановый период 2021 и 2022 годов (шифр научной темы 0774-2020-0004).

Study of gas dynamics of the combustion chamber of a gas turbine engine under the influence of asymmetry of the input velocity

Noskova K.R.

RSATU, Rybinsk, Russia

A numerical and experimental study of the combustion chamber has been carried out under the condition of the joint influence of the input asymmetry of the velocity and the redistribution of air along the main and cooling holes on the gas dynamics and hydraulic losses in the combustion chamber.

Based on the results of numerical calculations, it was found that when the coefficient of asymmetry of the input velocity K is greater than 1 and K is less than 1, the flow is displaced into the outer or inner annular channels. This leads to a decrease in the efficiency of cooling the flame tube, uniformity of air distribution in the frontal device, the quality of mixing of the fuel-air mixture decreases, an uneven distribution of streamlines is formed at the outlet of the flame tube, and this can adversely affect the operation of the turbine.

The minimum value of the coefficient of hydraulic loss at $K = 1$, and when it deviates from 1, the coefficient increases.

With the joint influence of the redistribution of the air flow rate through the holes in the flame tube, unsteady flow and asymmetry of the velocity, it was revealed that the inlet asymmetry of the flow is the most important factor determining the qualitative structure of the flow in all elements.

Therefore, when designing a combustion chamber, an important point is to keep K close to 1, which makes it possible to provide the maximum total pressure at the outlet from the combustion chamber and, accordingly, a minimum of hydraulic losses.

To verify the numerical calculations, experimental studies were carried out to visualize the structure. Tinted jet systems and laminar flow in a hydraulic flume were used. To compare numerical studies with experiments, additional numerical calculations were performed for the same

flow regime. Experiments have confirmed the adequacy of the applied numerical calculation models.

To compare numerical studies in the design flow regime, it is necessary to carry out experiments using the digital tracer visualization method, which is currently the most promising. Therefore, the PIV technique was carried out with a description of the experimental model of the CS for conducting experiments.

The work was carried out within the framework of the state assignment for the implementation of fundamental scientific research for 2020 and the planning period of 2021 and 2022 (scientific topic code 0774-2020-0004).

Тенденции развития коллоидных микродвигателей и перспективы их применения

Обухов В.А., Мельников А.В., Нигматзянов В.В., Попов Г.А., Свотина В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Разработка технологии КА масштаба микро КА и нано КА является одним из трендов развития космической техники на ближайшие годы, что стало возможным вследствие прогресса в таких технологиях как: микроэлектроника и электромеханика (MEMS технология). КА этой размерности требуют двигателей мощностью от единиц Ватт до 10 Ватт и тягой от единиц до 200 мкН. Коллоидные электрические ракетные двигатели (КЭД), основанные на электростатическом распылении электропроводящей жидкости имеют конкурентные преимущества по сравнению с другими видами ЭРД для мини КА и нано КА за счет относительной простоты конструкции и потенциально достаточно высоких кпд в области низких тяг. Экспериментальному и теоретическому исследованию электростатического распыления электропроводящих жидкостей посвящено много работ. В докладе рассматриваются физические основы КЭД при реализации двух конкурирующих технологий получения заряженных коллоидов при использовании распылителей капиллярного типа и пористых керамических распылителей. Рассмотрены физические процессы получения заряженных частиц с использованием обеих технологий и перспективы их развития. Рассмотрены опыт создания и применения КЭД за рубежом. К настоящему времени в практических конструкциях КЭД реализована технология капиллярных распылителей, при которой обеспечивается процесс одноструйного распыления. Проблема заключается в выборе рабочих тел и определении условий, при которых в результате распыления электропроводящей жидкости получают заряженные частицы наноразмерности с удельным зарядом не менее 500 Кл/кг. Технология с пористыми распылителями обеспечивает получение коллоидных частиц в виде неустойчивых кластеров с высоким удельным зарядом. В теоретическом плане хорошо изучен процесс одноструйного распыления, для которого получены параметрические зависимости удельного заряда получаемых коллоидных частиц от физических свойств жидкостей и характеристик режимов распыления. В качестве рабочих тел КЭД используются растворы солей с ионной связью в высокополярных жидкостях или ионно-проводящие жидкости, имеющие низкую упругость паров при комнатной температуре. Рассмотрены проблемы экспериментальной отработки двигателей. Дается оценка проблем разработки и перспективы применения КЭД в российских программах.

Trends of the colloid micro thrusters development and prospects for applications

Obukhov V.A., Melnikov A.V., Nigmatzyanov V.V., Popov G.A., Svotina V.V.

MAI, Moscow, Russia

The development of spacecraft technology at the scale of micro spacecraft and nano spacecraft is one of the trends in the development of space technology in the coming years, which has become possible due to progress in technologies such as microelectronics and electromechanics (MEMS technology). Spacecraft of this dimension require engines with power from units of Watts to 10 Watts and thrust from units to 200 μ N. Colloidal electric thrusters (CET) based on electrostatic atomization of an electrically conductive liquids have competitive advantages over other types of electric propulsion engines for mini spacecraft and nano spacecraft due to the relative simplicity of the design and potentially rather high efficiency in the low thrust region. Many works are devoted

to the experimental and theoretical study of electrostatic spraying of electrically conductive liquids. The report examines the physical foundations of CET in the implementation of two competing technologies for producing charged colloids using capillary sprayers and porous ceramic sprayers. The physical processes of obtaining charged particles using both technologies and the prospects for their development are considered. The experience of creating and using CET abroad is considered. To date, the practical designs of CET have implemented the technology of capillary sprayers, which provides a single-jet process. The problem lies in the choice of working fluids and determination of the conditions under which, as a result of spraying an electrically conductive liquid, charged nanosized particles with a specific charge of at least 500 C / kg are obtained. The technology with porous sprayers provides colloidal particles in the form of unstable clusters with a high specific charge. In theoretical terms, the process of single-jet spraying has been well studied, for which parametric dependences of the specific charge of the obtained colloidal particles on the physical properties of liquids and characteristics of spraying modes are obtained. Solutions of salts with ionic bonds in highly polar liquids or ion-conducting liquids with low vapor pressure at room temperature are used as CET working fluids. The problems of experimental development of engines are considered. An assessment of the development problems and the prospects for using CET in Russian programs is given.

Оптимизации параметров рабочего процесса авиационных турбовальных двигателей с рекуператором

Омар Х.Х.О., Кузьмичёв В.С., Ткаченко А.Ю.
Самарский университет, г. Самара, Россия

Газотурбинные двигатели, работающие по циклу Брайтона, имеют большие потери энергии. Эти потери в виде тепловой энергии, выбрасывается в окружающую среду, могут превышать 60-70%. Одним из способов повышения эффективности газотурбинных двигателей является установка рекуператоров для утилизации тепла выходящих из двигателя газов. Применение рекуператора в авиационном двигателе позволяет обеспечить снижение удельного расхода топлива. Однако, техническая реализация такого термодинамического цикла связана с усложнением конструкции, повышением массы и габаритов двигателя из-за установки рекуператора. Поэтому при создании ГТД СТ с рекуператором необходимо учитывать не только повышение топливной эффективности, но и ухудшение массовых характеристик, так как на эффективность силовой установки летательного аппарата оба фактора оказывают противоположное влияние.

Повышение эффективности силовой установки с таким двигателем может быть обеспечено за счет одновременной комплексной оптимизации и параметров двигателя, и параметров рекуператора.

В работе приведены результаты такой комплексной оптимизации параметров рабочего процесса газотурбинного двигателя со свободной турбиной и рекуператором, установленным за ней (температуры газа перед турбиной и суммарной степени повышения давления) и параметров рекуператора (степени регенерации) по эффективному КПД двигателя, а также по критерию оценки двигателя в системе летательного аппарата — затратам топлива на тонна-километр перевозимой коммерческой нагрузки, учитывающим и улучшение топливной экономичности и увеличение массы двигателя за счет установки рекуператора.

Показано, что оптимальные значения степени повышения давления ГТД СТ с рекуператором (ГТД СТр) в 2-3 раза меньше, чем у ГТД СТ без рекуператора при повышении эффективного КПД двигателя на 10%, и улучшении затрат топлива на тонна-километр на 20...25%.

Optimization of working process parameters for helicopter turboshaft engines with heat recovery

Omar H.H.O., Kuzmichev V.S., Tkachenko A.Yu.
Samara University, Samara, Russia

Gas turbine engines running on the Brighton cycle have large energy losses. These losses in the form of heat energy released into the environment can exceed 60-70%. One of the ways to increase the efficiency of gas turbine engines is to install recuperator for recovery the heat energy of gases coming out of the engine.

The utilization of a recuperator in an aircraft engine makes it possible to reduce the specific fuel consumption. However, the technical implementation of such a thermodynamic cycle is associated with the complexity of the design, increasing the weight and dimensions of the engine due to the installation of a heat exchanger. Thus, it is necessary to take into account the thermal efficiency and the mass characteristics during the design of an aviation turboshaft engine with a recuperator since these factors have the opposite influence on the efficiency of the aviation power plant.

Increasing the efficiency of aviation power plant with such an engine can be achieved by simultaneously optimizing both the engine parameters and the recuperator parameters.

The paper presents the results of complex optimization of parameters of working process of gas turbine engine with power turbine and heat exchanger (the gas temperature and the total compressor pressure ratio) and parameters of the heat exchanger (heat exchanger effectiveness) for the effective efficiency of the engine, as well as, the criteria of evaluation of the engine system of the aircraft (the cost of fuel per ton-kilometer of payload transported) takes into account both improved fuel economy and increased engine weight due to the installation of the heat exchanger.

It is shown that the optimal values of pressure ratio of turbo-shaft engine with recuperator 2-3 times less than turbo-shaft engine without recuperator with increasing effective efficiency of the engine by 10%, and improving the cost of fuel per ton-kilometer of payload transported by 20...25%.

Оптимизация системы управления пограничным слоем плоского сверхзвукового диффузора прямого двигателя

Павлов К.А., Яковлев А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время возрастает интерес разработчиков беспилотных летательных аппаратов и авиационного вооружения к созданию комбинированных силовых установок для повышения дальности и скорости полета разрабатываемых изделий. Существует большое количество компоновок комбинированных двигателей, некоторые из них уже успешно интегрированы в действующие летательные аппараты, другие – находятся на стадии отработки.

Одним из основных узлов комбинированного прямого двигателя является входной диффузор, оптимизация параметров которого оказывает существенное влияние на тяговые характеристики силовой установки в целом. В процессе исследования был рассмотрен плоский сверхзвуковой воздухозаборник (ВЗ) подфюзеляжного расположения для ракетно-прямоточного двигателя на твердом топливе (РЦДТ). Расчет характеристик был произведен с использованием программного комплекса Ansys Fluent для скоростей полета $1,8 < M < 2,5$ в трехмерной постановке, а результаты моделирования соответствуют проведенным экспериментам в аэродинамической трубе.

В качестве основной схемы управления пограничным слоем (ПС) используется щель слива в горле ВЗ. Определено влияние относительной площади щели слива ПС на характеристики ВЗ при различных скоростях полета, а так же выявлены преимущества использования перфорированного отсоса ПС с поверхностей сжатия.

Дальнейшие исследования, используя полученную расчетную модель, могут быть направлены для оптимизации параметров ВЗ РЦДТ с комбинированной системой управления ПС при различных условиях полета (скорости, угла атаки и скольжения).

Optimization of the control system of the boundary layer of a flat supersonic diffuser of a ramjet engine

Pavlov K.A., Yakovlev A.A.

MAI, Moscow, Russia

Currently, the interest of developers of unmanned aerial vehicles and aircraft weapons in the creation of combined engines to increase the range and flight speed of developed products. There are a large number of combinations of combined engines, some of them have already been successfully integrated into operating aircraft, others are at the stage of development.

One of the main units of the combined ramjet engine is the inlet diffuser, the optimization of the parameters of which has a significant effect on the traction characteristics of the power plant as a whole. In the course of the study, a flat supersonic air intake (VZ) of the ventral arrangement for a solid-fuel ramjet engine (RPDT) was considered. The calculation of the characteristics was carried out using the Ansys Fluent software package for flight speeds $1.8 < M < 2.5$ in a three-dimensional setting, and the simulation results correspond to the experiments performed in the wind tunnel.

The drain slot in the throat of the air intake is used as the main control scheme for the boundary layer (BL). The influence of the relative area of the PS drain slot on the air intake characteristics at various flight speeds was determined, as well as the advantages of using the perforated PS suction from the compression surfaces were revealed.

Further studies, using the obtained computational model, can be directed to optimize the parameters of the airborne RPDT with the combined aircraft control system under various flight conditions (speed, angle of attack and slip).

Планирование эксперимента для исследования воздействия высокоэнергичного пучка ионов на элементы космического мусора

Пейсахович О.Д., Могулкин А.И., Мельников А.В., Нигматзянов В.В., Хартов С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Для повышения эффективности удаления элементов космического мусора, с помощью высокоэнергичного пучка ионов, необходимо знать условия передачи импульса к поверхности этого мусора, которые определяются коэффициентами аккомодации. Количественные значения последних зависят от многих факторов, как самого потока (энергии частиц, их массы и размеров), так и параметров взаимодействия потока с поверхностью (угла падения, сорта материала и шероховатости поверхности). В рамках настоящей работы было запланировано проведение экспериментальной работы по более детальному исследованию процесса воздействия пучка ионов на поверхность объекта – уточнения коэффициентов аккомодации.

Для выполнения данной работы выбран метод прямого измерения усилия. Планируется использовать инверсионную систему измерения малых сил (СИМС-200). Эта система предназначена для измерения усилия, которое возникает на подвешенной мишени при воздействии на неё ускоренных в источнике ионов частиц. Основные характеристики СИМС-200: диапазон измеряемого усилия от 1 до 200 мН; основная приведенная погрешность измерения не превышает $\pm 2,5\%$ в зависимости от диапазона измерений.

Принцип действия системы основан на автоматической компенсации силы, создаваемой воздействием, усилием, развиваемым магнитоэлектрическим компенсатором в цепи отрицательной обратной связи. Следящая система построена по принципу пропорционального интегро-дифференциального регулирования (ПИД-регулятор) с астатизмом первого порядка. Такое решение позволяет реализовать в системе полную компенсацию усилия без статической ошибки и, следовательно, исключить отклонение маятника от нулевой точки в процессе измерений, что обеспечивает отсутствие пластических деформаций токоподводов измерительных датчиков, в основном влияющих на характеристики дрейфа нуля и диапазона калибровки системы измерения.

Выбранная система обладает приемлемой точностью и линейностью измерений, что и позволяет эффективно использовать её для определения коэффициентов аккомодации.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации, выделяемого из федерального бюджета для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях и государственных научных центрах Российской Федерации (VII очередь, постановление Правительства РФ №220 от 09.04.2010). Соглашение №075-15-2019-1894 от 03.12.2019.

Experimental research plan of a high-energy ion beam impact on space debris object

Peysakhovich O.D., Mogulkin A.I., Melnikov A.V., Nigmatzyanov V.V., Khartov S.A.

²МАИ, Moscow, Russia

To increase the efficiency of space debris removing using a high-energy ion beam, it is necessary to know the conditions for impulse transfer to the debris surface, which are determined by the accommodation coefficients. The quantitative values depend on many factors, both the flow itself (the energy of particles, their mass and size) and the interaction parameters of the flow with the surface (angle of incidence, type of material and surface roughness). Within the framework of this work, it was planned to carry out experimental work on a more detailed process study of an ion beam exposure to the object surface - to refine the accommodation coefficients.

For this work, the method of direct force measurement was chosen. It is planned to use an inversion system for measuring low forces (LTMS-200). This system is designed to measure the force that occurs on a suspended target when particles accelerated in the ion source act on it. Main characteristics of LTMS-200: range of measured force from 1 to 200 mN; the basic reduced measurement error does not exceed $\pm 2,5\%$ depending on the measurement range.

The system operation principle of is based on the force generated by the action automatic compensation, the force developed by the magnetoelectric compensator in the negative feedback circuit. The tracking system is built on the principle of proportional integro-differential control (PID controller) with first-order astatism. This solution makes it possible to implement full force compensation in the system without a static error and, therefore, to exclude the deviation of the pendulum from the zero point during measurements, which ensures the absence of the measuring sensors current leads plastic deformations, which mainly affect the characteristics of the zero drift and the calibration range of the measuring system.

The selected system has acceptable accuracy and linearity of measurements, which allows it to be effectively used to determine the accommodation coefficients.

This study was supported by the grant of the Government of the Russian Federation allocated from the federal budget for state support of scientific research conducted under the guidance of leading scientists in Russian educational institutions of higher education, research institutions and state research centers of the Russian Federation (Contest 7, Resolution No.220 of the Government of the Russian Federation of April 9, 2010). Agreement No. 075-15-2019-1894 of December 3, 2019.

Оценка помехоэмиссии электрических ракетных двигателей в наземных условиях

¹Плюхих А.П., ¹Важенин Н.А., ¹Меркурьев Д.В., ²Шилов С.О.

¹МАИ, ²МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Радиоэлектронные средства (РЭС) космических аппаратов (КА) функционируют в условиях естественных и искусственных радиопомех, определяющих электромагнитную обстановку. Наличие свободно распространяющихся электромагнитных волн, а также кондуктивных помех порождает проблему электромагнитной совместимости (ЭМС), являющуюся одной из основных на современных КА. Воздействие электромагнитных помех на РЭС может приводить к разным последствиям. В первую очередь это касается отказов и сбоев в системах КА, которые зависят от помехоустойчивости и интенсивности помехоэмиссии бортовых электронных средств и полезной нагрузки. Соответственно, методы обеспечения ЭМС бортовых радиоэлектронных средств развиваются по двум основным путям, направленным в сторону снижения их помехоэмиссии и повышения стойкости к кондуктивным и излучаемым радиопомехам.

В данном докладе в качестве объекта исследования в интересах электромагнитной совместимости (ЭМС) рассматриваются холловские электрические ракетные двигатели (ЭРД) средней мощности с рабочими телами на основе ксенона и криптона.

Обсуждаются технологические подходы к оценке помехоэмиссии ЭРД в наземных условиях с использованием вакуумного стенда НИИ ПМЭ МАИ, обеспечивающего условия космического пространства и требуемую безэховость, необходимую для проведения измерений помехоэмиссии.

Особое внимание уделяется обоснованию выбора измерительной аппаратуры спектрального анализа помеховых сигналов. На примере, профессиональных технических решений, разработанных фирмой Keysight Technologies, рассматриваются различные конфигурации измерительного комплекса. Приводятся результаты практического использования анализаторов спектра в задачах оценки помехоэмиссии ЭРД.

Приводятся сравнительные результаты помехоэмиссии в радиодиапазоне для двух типов двигателей традиционных схем:

- Двигатель с анодным слоем.
- Стационарный плазменный двигатель.

Авторы выражают благодарность компании Keysight Technologies за помощь в реализации проекта и дальнейшее развитие сотрудничества в области научных исследований и передовых технологий.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках Соглашения № 075-15-2019-1686 от 26.11.2019 г.

Assessment of electromagnetic emission from electric propulsion under ground conditions

¹Plokhikh A.P., ¹Vazhenin N.A., ¹Merkurev D.V., ²Shilov S.O.

¹MAI, Moscow, ²BMSTU, Moscow, Russia

Radioelectronic equipment (REE) of spacecraft is exposed to natural and artificial interference defining the electromagnetic environment. The presence of freely propagating electromagnetic waves, as well as of the conductive interference, causes the problem of electromagnetic compatibility (EMC), which is one of the major for modern spacecraft.

The REE exposure to electromagnetic interference may lead to different consequences. First of all, it concerns failures and malfunctions in the operation of spacecraft systems, which depend on the noise immunity and interference emission intensity of onboard electronic equipment and payload. Accordingly, the methods of providing EMC for onboard electronic equipment are developed in two main directions aimed at reducing their interference emission and increasing immunity to conductive and radiated radio interference.

In this paper, Hall-effect electric thrusters of medium power with xenon and krypton as propellants are considered as the objects of research in the interests of electromagnetic compatibility.

We discuss technological approaches to the evaluation of interference emission from electric thrusters under ground conditions with the use of the vacuum test facility of the Research Institute of Applied Mechanics and Electrodynamics of the Moscow Aviation Institute (RIAME MAI), which provides the conditions of outer space and the required anechoic properties necessary for conducting interference emission measurements.

Special attention is paid to the substantiation of the choice of measuring equipment for the spectral analysis of interference signals. By the example of professional technical solutions developed by the Keysight Technologies company, different configurations of the measuring complex are considered. Results of practical use of spectrum analyzers in the tasks of EP interference emission estimation are given.

Comparative results are given for the radio-frequency interference emission from two types of thrusters:

- Thruster with anode layer.
- Stationary plasma thruster.

The authors would like to express their gratitude to Keysight Technologies for assistance in the project implementation and further development of cooperation in the field of scientific research and advanced technologies.

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russia under the Agreement No. 075-15-2019-1686 dated 26.11.2019.

Разработка ДАС мощностью до 100 Вт

Подгорных Р.О., Комаров А.А., Нестеренко А.Н., Олотин С.В., Саевец П.А.

АО «ОКБ «Факел», г. Калининград, Россия

Возможности космических аппаратов (КА) микрокласса существенно расширятся при использовании эффективных электроракетных двигателей. С их помощью можно выполнять доведение, коррекцию орбит, а также сведение КА по завершению эксплуатации. Последнее становится все более актуальным с увеличением численности космических группировок. Электропитание двигателей может осуществляться от аккумуляторов, что частично снимает ограничения по энергопотреблению. Поэтому двигатели мощностью до 100 Вт могут применяться на космических аппаратах массой в несколько десятков килограммов. Перспективным для этой цели являются двигатели с анодным слоем (ДАС) в силу простоты конструкции и технологичности изготовления.

Разработана лабораторная модель двигателя Д-18 со средним диаметром разрядного канала 18 мм. В ней применен серийный катод-компенсатор с разрядным током свыше 0,8 А, расходом ксенона 0,1 мг/с и мощностью стартового разогрева не менее 65 Вт. Последний параметр является определяющим в выборе мощности двигателя. Проведены исследования лабораторной модели Д-18. На мощности 80 Вт при напряжении разряда 150 В тяга двигателя составляет 3,5 мН при удельном импульсе тяги 590 с. Катушка намагничивания двигателя включена в цепь разряда, что существенно упрощает алгоритм запуска и функционирования изделия. Огневая наработка двигателя доведена до 70 ч, в результате чего удалось определить начальную скорость эрозии полюсов магнитной системы. Наибольшую скорость эрозии имеет внутренний полюс, причем изнашивается не только цилиндрическая, но и торцевая его часть, не контактирующая с ускоренным плазменным потоком. По прогнозу ресурс двигателя может достигать 1000 ч, а суммарный импульс тяги – 10 кН·с. В дальнейших планах оптимизация рабочего процесса и поиск путей снижения мощности двигателя.

Development of TAL with a power of up to 100 W

Podgornykh R.O., Komarov A.A., Nesterenko A.N., Olotin S.V., Saevets P.A.

EDB Fakel, Kaliningrad, Russia

Capabilities of spacecraft (S/C) of microclass will be significantly expanded if using effective electric thrusters. With the help of such thrusters orbit transfer, orbit correction as well as S/C deorbiting after completion of their operation can be performed. The latter becomes more and more urgent with the increase of the number of spacecraft constellations. Power supply of the thrusters can be provided from accumulators what partially removes limitations in terms of power consumption. Therefore the thruster with a power of up to 100 W can be used on spacecraft with the mass of several tens of kilograms. For that purpose Thrusters with Anode Layer (TAL) are promising due to simplicity of their design and manufacturability.

A laboratory model of the D-18 thruster with the discharge channel mean diameter of 18 mm has been developed. An off-the-shelf cathode-compensator with a discharge current over 0.8 A, xenon flow rate of 0.1 mg/s, and a startup heating power of not less than 65 W is used in the model. The last parameter is determining one when selecting the thruster power. Investigations of the D-18 laboratory model have been performed. At a power of 80 W and a discharge voltage of 150 V the thruster thrust is 3.5 mN at a specific impulse of 590 s. The thruster magnetic coils are in the discharge circuit, what significantly simplifies the thruster startup algorithm and functioning. The accumulated thruster firing time has been brought to 70 hours, as a result of that we succeeded in assessing the initial erosion rate of the magnetic system poles. The highest erosion rate is on the internal pole, at that, not only the cylindrical part of the internal pole is eroded, but its face part that

does not contact with the accelerated plasma flow is eroded as well. According to prediction the thruster life can reach 1000 hour, the total impulse can reach 10 kN·s. Our further plans are to optimize operating process and to search for the ways to reduce thruster power.

Анализ ударно-волновых структур в канале воздухозаборника перспективного воздушно-реактивного двигателя

Савелова К.Э., Чернышов М.В., Савелов В.А., Алексеева М.М., Капралова А.С.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Тройные конфигурации скачков уплотнения, реализуемые в рассматриваемых течениях, образуются при их взаимодействии или нерегулярном отражении и требуют более тщательного анализа для обеспечения устойчивости и управления течением.

В зависимости от направлений отклонения потока на скачках, тройные конфигурации относятся к различным типам. Традиционно тройные конфигурации анализируются на плоскости (M, σ) . ТК скачков уплотнения не всегда устойчива. Она изменяется под влиянием внешних факторов, так же, существует область, когда возможен не один вариант решения. При низких показателях адиабаты газа и больших числах Маха течения (полета) возможно получить также маховское отражение с отрицательным углом поворота потока отражённого скачка. для разных показателей адиабаты, при его уменьшении (показателя адиабаты) область существования ОТК увеличивается. Их следует изучать, потому что на больших высотах при больших скоростях полёта ЛА возможны изменения «эффективного показателя адиабаты воздуха», которому должен соответствовать расчет образующихся ударно-волновых структур, а также в связи с использованием углеводородных топлив, обладающих более низкими показателями адиабаты.

В одной из задач был просчитан и проанализирован вариант с поджогом смеси на ударной волне. Интересным результатом стало то, что поверхность горения не соприкасается с корпусом канала, что может хорошо сказаться на минимизации охлаждения стенок аппарата.

Области существования тройных конфигураций и других ударно-волновых структур требуют больших отдельных исследований, так как не всегда понятно, насколько они могут быть устойчивы, и какие из них реализуются.

Analysis of shock-wave structures in the air intake of a promising air-jet engine

Savelova K.E., Chernyshov M.V., Savelov V.A., Alekseeva M.M., Kapralova A.S.

BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint Petersburg, Russia

Triple configurations of shock waves, which are realized in the considered flows, are formed during their interaction or irregular reflection and require more careful analysis to ensure stability and flow control.

Depending on the direction of flow deflection on the jumps, triple configurations are of different types. Traditionally, triple configurations are analyzed on the plane (M, σ) . Shock TK is not always stable. It changes under the influence of external factors, and there is also an area where more than one solution is possible. At low gas adiabatic exponents and large flow (flight) Mach numbers, it is also possible to obtain a Mach reflection with a negative angle of rotation of the reflected shock stream. for different adiabatic exponents, as it decreases (adiabatic exponent), the region of existence of the OTC increases. They should be studied, because at high altitudes at high aircraft flight speeds, changes in the "effective air adiabatic index" are possible, which must correspond to the calculation of the formed shock-wave structures, as well as in connection with the use of hydrocarbon fuels with lower adiabatic indices.

In one of the tasks, the option with the ignition of the mixture on the shock wave was calculated and analyzed. An interesting result is that the combustion surface does not come into contact with the channel body, which can have a good effect on minimizing the cooling of the apparatus walls.

The regions of existence of triple configurations and other shock-wave structures require large separate studies, since it is not always clear how stable they can be and which of them are realized.

Нестационарные процесс горения

Савчук А.Т., Яковлев А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Целью работы является создание и верификация методика оценки запасов устойчивости процессов горения в камере сгорания (КС) газотурбинного двигателя (ГТД), основанная на искусственном моделировании возбуждения нестационарных процессов (НП) в КС в параметрах температура-давление с использованием CFD (Computational Fluid Dynamics – Вычислительная гидродинамика) пакета «ANSYS Fluent», и определение основных требований к данной методике расчёта. Для верификации метода в дальнейшем будет проведено сравнение результатов расчётов и данных физического эксперимента в модельном устройстве

В процессе работы будет выработана методика и создан программный продукт для вычисления характеристик процессов КС до и после возбуждения НП, оценки запасов устойчивости рабочих процессов для конструкций определенной геометрии и режимных параметров агрегатов, что позволит уточнять границы неустойчивости для конкретных режимов эксплуатации (помпаж, прекращение горения, бедный срыв пламени) существующих и проектируемых ГТД.

Суть предлагаемой методика следующая, проведение двухэтапного CFD расчета:

1. Получение стационарного LISA-решения (steady – pressure based) горения ТВС в модельной зоне и искусственным поджигом с заданной точностью.

2. Получение решения переходного (transient – pressure base, adaptive time steps) процесса с требуемыми параметрами точности, минимальный рекомендуемый шаг по времени 1e-6 сек.

Модельной областью в численном и в будущем физическом эксперименте будет принят однофоруночный параллелепипед (300x210x25мм), в котором будут выделены следующие зоны:

1. Распыла топлива и формирования топливо-воздушной смеси (ТВС).
2. Наблюдения перед фронтом сильного разрыва.
3. Сильного разрыва.
4. Наблюдения после фронта сильного разрыва.
5. Релаксационная.

Для верификации предложенного метода в сравнение результатов расчётов и данных физического эксперимента будет использован стенд оснащенный оборудованием PIV (Particle Image Velocimetry).

Method of the numerical modeling of unstationary processes in the combustion chamber of a gas turbine engine

Savchuk A.T., Yakovlev A.A.

MAI, Moscow, Russia

The aim of the work is to create and verify a methodology for assessing the stability margins of combustion processes in the combustion chamber (CC) of a gas turbine engine (GTE) based on artificial simulation of the excitation of non-stationary processes (NP) in the CC in the temperature-pressure parameters using CFD (Computational Fluid Dynamics – Computational Fluid Dynamics) software "ANSYS Fluent" and the definition of the basic requirements for this computing method. To verify the method, in the future, a comparison of the computed results and the real data of the physical experiment in the model device.

During research this methodology will be developed and a software product will be developed for computing the characteristics of the combustion chamber processes before and after the excitation of the artificial unstable process, estimation the operating envelope for CC design of a certain geometry and operating parameters of the allied equipment and units. Also it will make possible to clarify the instability limits for specific operating modes (engine stall, flame suppression, lean flameout) of existing and projected gas turbine engines.

The essence of the proposed method is the following, a two-stage CFD code:

1. Obtaining a stationary LISA-solution (steady-pressure based) of fuel assembly combustion in the model zone and artificial ignition with a given accuracy in the whole computing area.

2. Obtaining the transient solution (pressure base, adaptive time steps) process with the required accuracy parameters, the minimum recommended time step is $1e-6$ sec.

A single-nozzle parallelepiped (300x210x25mm), will be adopted as a model area in the numerical and in the future physical experiment in which the following zones will be pointed:

1. Spraying fuel and forming a fuel-air mixture (FA).
2. Observations ahead of the strong rupture front.
3. Strong break.
4. Observations after the strong rupture front.
5. Spray and flame relaxation zone.

To verify the proposed method in comparison of the CFD numerical results and the physical data experiment the test stand with PIV equipment (measurement of the particle image velocity) will be used.

Оценка характеристик разброса компонентов топлива при выходе ракетного двигателя на режим

Сафуанов Р.Р., Сальников А.Ф., Петрова Е.Н.

ПНИПУ, г. Пермь, Россия

Маршевые ракетные двигатели на жидком топливе (ЖРД) настраиваются на так называемый режим предварительной ступени тяги (ПСТ), меньшей по величине, чем режим номинальной тяги. Данное решение применяется в целях: проверки работоспособности ЖРД до отрыва ракеты-носителя от стартового стола для выявления неисправного ЖРД и прерывания пуска (актуально для ракет-носителей космического назначения); снижения градиентов нарастания параметров, характеризующих процесс запуска ЖРД (расходы, давления, температуры, обороты), что позволяет избежать забросов параметров за допустимые пределы и разрушения двигателя (актуально для любых ЖРД большой тяги, но в особенности – для ЖРД с пушечным запуском).

В ходе запуска уменьшаются температура газа на выходе из газогенератора и его располагаемая удельная адиабатная работа, что приводит к снижению расходов компонентов в КС и, в конечном итоге, тяги. Уменьшение расхода компонента в газогенератор на запуске обеспечивается с помощью регулятора, управляющего подачей компонента при работе ЖРД на номинальном режиме. Для уменьшения разброса величин установившихся режимов относительно заданного уровня, обусловленного отклонением характеристик агрегатов из состава ЖРД от номинальных, производится индивидуальная настройка каждого ЖРД. Как правило, настройка ЖРД на предварительный и номинальный режимы сводится к определению угла установки регулятора и диаметров дроссельных шайб. При этом дроссельные шайбы в основном служат для обеспечения заданного соотношения компонентов топлива в камере сгорания, а угол регулятора, определяющий расход компонента в газогенератор на запуске, отвечает за уровень настройки всего изделия в целом. В ходе огневых стендовых испытаний определяется параметр непопадания в настройку по углу регулятора, количественно характеризующий математический алгоритм настройки. Разработка математической модели настройки изделия на режим ПСТ производится путём анализа математической модели ЖРД и выявления характеристик агрегатов, влияющих на уровень тяги. Результатом анализа является уравнение, позволяющее рассчитать массовый расход компонента, протекающего через регулятор в газогенератор, на основании отклонений характеристик агрегатов от номинальных значений. Необходимо также отметить, что в ряде случаев итоговая настройка производится по результатам огневых контрольно-технологических испытаний ЖРД.

Estimation of characteristics of the fuel component variations when the rocket engine enters the mode

Safuanov R.R., Salmikov A.F., Petrova E.N.
PNRPU, Perm, Russia

Cruising rocket engines with liquid petroleum (LRE) are tuned to the so-termed preliminary thrust stage (PTS) mode, which is smaller than the nominal thrust mode. This solution is used for: checking the working capacity of the LRE before the vehicle launch is taken off from the launch pad to detect inoperable LRE and interrupt the launch (relevant for space launch vehicles); to reduce the gradual onset rate in parameters that characterize the process of LRE launching (consumptions, pressures, temperatures, RPM), that allows to avoid the overrange parameters and engine disintegration (relevant for any LRE with high thrust, but especially for LRE with a full start). During the launch, the output gas temperature of the gas generator and its available specific adiabatical work decrease, which lead to a consumption reducing of components in the combustion chamber and thrust. Consumption reducing of the component in gas generator on the launch is provided with the help of regulator, which manages the component supply during the operation of LRE on the nominal mode. For reducing the spread in values of the steady modes relative to the set level, due to the LRE unit characteristic deviation from the nominal ones, the individual settings are made for each LRE. As the rule, LRE settings for preliminary and nominal modes is centered on determining the angle of regulator assembling and diameters of orifice chokes. At the same time, orifice chokes mainly serve to ensure the given ratio of fuel components in the combustion chamber, and the angle of the regulator, which determines the component consumption in the gas generator at the launch, is responsible for the level of settings of the entire product as a whole. During the firing bench tests, the missing parameter of settings by the angle of the regulator is determined, which quantitatively characterizes the mathematical algorithm of settings. The development of a mathematical model for settings of the product to the PST mode is performed by analyzing the LRE mathematical model and identifying the characteristics of the units that affect the level of the thrust. The result of the analysis is an equation, that allows to calculate the mass flow rate of the component flowing through the regulator to the gas generator, based on unit characteristic deviations from the nominal values. It should also be noted, that in some cases, the final settings are based on the results of firing control and technological tests of the LRE.

Исследование и оптимизация критических узлов газогенераторов ТВД и ТВАд

Синякин В.П.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время в России и за рубежом имеется большое число турбовальных ГТД с центробежной(-ыми) или комбинированными осецентрированными ступенями компрессора, одноступенчатыми (или двухступенчатыми) узлами турбины газогенератора, которые проектируются неохлаждаемыми или охлаждаемыми.

Перспективные конструкции должны иметь меньшее число деталей и расход топлива, габариты и массу, а также большие ресурсы работы и число эксплуатационных циклов, которые в современных ГТД не достигают желаемых величин.

В представленной работе варьировались диаметральные размеры и число ступеней компрессора и турбины, их напорность, максимальные величины частоты вращения роторов турбокомпрессора проектируемых ГТД, а также температуры газа перед турбинами его газогенератора. Рассматривались российские и иностранные ГТД, например: США (PW205, 207 и 209; Honeywell HTS 900-2; Lycoming LTS 101-650C и PLT34 B-1); Франции (TP319; Arris; Arriel; Arrano); Англии (RR 250-C34; программа ASTD); Украины (АИ-450; АИ-500); России (ТВ0-100; проекты ВК-800 и ВК-650; проект НК-123).

Современные российские однодвигательные и двухдвигательные лёгкие вертолёты, где требуется совершенствование их малоразмерных ГТД, это VRT500, Ми-34, Ансат и Актай, Ка-226, поэтому данная работа актуальна и имеет большое практическое значение. Представлены новые конструктивные решения критических узлов проточной части газогенератора ГТД, разработанные с учётом возможностей современной и перспективной

технологии и исследованные с целью определения их прочностных и ресурсных характеристик.

В качестве объектов исследований выбраны высокооборотные турбокомпрессоры семейств перспективных газотурбинных двигателей (ГТД), мощностью от 400 до 1500 л.с., предназначенные для установки на лёгкие вертолёты, эксплуатирующиеся при температуре наружного воздуха $-25...+50^{\circ}\text{C}$.

Определены перспективные направления совершенствования конструктивного облика и оптимизации параметров и характеристик следующих узлов: ЦБК и ОЦБК авиационных ГТД, с рабочими колесами открытого или закрытого типа, лопаточными или безлопаточными диффузорами, установленными неподвижно или на опорах качения; охлаждаемыми или неохлаждаемыми турбинами газогенератора с теплозащитными покрытиями новых поколений и т.д. Задачей этих исследований является, например, минимизация их габаритных и массовых характеристик, т.е. исследование основных факторов и параметров, способствующих повышению их эффективности и созданию ГТД передового технического уровня.

Research and optimization of critical components of gas generators turboprop and turboshaft engines

Sinyakin V.P.

MAI, Moscow, Russia

At present, in Russia and abroad there are a large number of turboshaft gas turbine engines with centrifugal(s) or combined axial centrifugal compressor stages, single-stage (or two-stage) turbine units of the gas generator, which are designed uncooled or cooled.

Advanced designs should have a smaller number of parts and fuel consumption, dimensions and weight, as well as large operating resources and the number of operating cycles, which in modern gas turbine engines do not reach the desired values.

In the presented work, the diametric dimensions and the number of compressor and turbine stages, their pressure, the maximum rotational speed of the turbocompressor rotors of the designed GTE, as well as the gas temperature in front of the turbines of its gas generator were varied. Russian and foreign gas turbine engines were considered, for example: USA (PW205,207 and 209; Honeywell HTS 900-2; Lycoming LTS 101-650C and PLT34 B-1); France (TP319; Arrius; Arriel; Arrano); England (RR 250 – C34; ASTD program); Ukraine (AI-450; AI-500); Russia (TV0-100; VK-800 and VK-650 projects; NK-123).

Modern Russian single-engine and twin-engine light helicopters, where improvement of their small-sized gas turbine engines is required, are VRT500, Mi-34, Ansat and Aktai, Ka-226, therefore this work is relevant and of great practical importance. New constructive solutions of critical units of the gas-turbine engine gas generator flow path, developed taking into account the capabilities of modern and promising technology and investigated to determine their strength and resource characteristics, are presented.

High-speed turbocompressors of promising engines, with a capacity of 400 to 1500 hp, intended for installation on light helicopters operating at an outside air temperature of $-25...+50^{\circ}\text{C}$, were selected as objects of research.

The promising directions for improving the design and optimization of the parameters and characteristics of the following units are determined: compressor of aviation GTE, with open or closed impellers, blade or bladeless diffusers, fixed or mounted on rolling bearings; cooled or uncooled gas generator turbine with new generations of thermal protective coatings, etc. The task of these studies is to minimize overall and mass characteristics of engine, research of the main factors and parameters contributing to the creation of a GTE of an advanced technical level.

Численное моделирование эрозийного износа твёрдыми частицами в газовом потоке

Строкач Е.А., Кожевников Г.Д., Пожидаев А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время, эксплуатация авиационных двигателей и обеспечение требуемого ресурса в сложных климатических условиях, в том числе в сильно запыленной атмосфере, –

одно из наиболее приоритетных направлений исследований в области технической эксплуатации самолетов и вертолетов, являющиеся важным для организаций и производителей, использующих авиационную технику.

В процессе эксплуатации элементы газотурбинных двигателей в условиях запыленности воздуха подвергаются эрозии, которая приводит к значительному ухудшению характеристик компрессора и турбины, снижая показатели производительности и надежности двигателя, а вследствие – уменьшению ресурса. Воздействие твердых частиц наиболее опасно для вентиляторных лопаток, лопаток компрессора низкого давления, крыльчаток, рабочих и сопловых лопаток газовых турбин. Для защиты элементов двигателя от эрозионного износа используют керамические, полимерные и покрытия на основе эластомеров [1-3]. Поэтому важной задачей является определение эрозионной стойкости материала на этапе проектирования двигателя, т.е. создание моделей взаимодействия пар различных веществ: материал и поток с частицами.

В данной работе проводится численное моделирование на базе тестовых экспериментальных исследований эродирования твердыми частицами в потоке газа при прямом натекании смеси на образец. Моделирование проводится с помощью методов вычислительной гидрогазодинамики, реализованных в программном комплексе ANSYS, траектории частиц рассчитываются в Эйлер-Лагранжевой постановке. Исследовано несколько наиболее распространенных моделей эрозии, применимых для износа твердыми частицами в газовом потоке. Исследовано влияние настроечных коэффициентов на скорость эродирования образцов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, тема №ФСФФ-2020-0014

1. Кожевников Г.Д., Исследование эрозионной стойкости покрытий, полученных на алюминиевых сплавах АК4-1 методом микродугового оксидирования // Тезисы XLV Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения». 2019. с. 125.

2. Кузнецова В.А., Шаповалов Г.Г. Тенденции развития в области эрозионностойких покрытий // Электронный журнал «ТРУДЫ ВИАМ» №11. 2018. с. 74.

3. Jiao Chen, Mingrui Geng, Yuqin Li, Zhufang Yang, Yan Chai, Guangyu He // *Coatings* 2019, 9(2), 2019, с. 64.

Numerical simulation of erosion wear by solid particles in a gas stream

Strokach E.A., Kozhevnikov G.D., Pozhidaev A.A.

MAI, Moscow, Russia

Nowadays the operation of aircraft engines and ensuring the required resource in difficult climatic conditions, including a highly dusty atmosphere, is one of the priorities in research in the field of technical operation of aircraft and helicopters, which are important for organizations and manufacturers using aviation equipment.

Elements of gas turbine engines in dusty atmosphere are subjected to erosion during operation, which leads to a significant decline in the characteristics of the compressor and turbine, reducing the performance and reliability of the engine, and finally losses of life span. Exposure of solid particles is most dangerous for fan blades, low-pressure compressor blades, impellers, rotor and stator blades of gas turbines. Ceramic, polymer, and elastomer-based coatings are used to protect engine elements from erosion wear [1-3]. Thus an important task is to determine the erosion resistance of the material during designing of the engine, in other words it is necessary to create models for the interaction of pairs of different substances: material and gas with particles.

In this paper, computational modeling is carried out based on experimental studies of solid particle erosion in a gas stream when it flows directly onto the sample. The simulation is performed using computational fluid dynamics methods implemented in the ANSYS software package. Particle trajectories are calculated in the Euler-Lagrangian formulation. Some of computer model of solid particles erosion in a gas stream have been studied. The influence of various coefficients on the rate of sample eroding is studied.

The work was performed as part of the State task of the Ministry of education and science of the Russian Federation, topic №FSFF-2020-001

1. Kozhevnikov G. D., Investigation of the erosion resistance of coatings obtained on aluminum alloys AK4-1 by microarc oxidation // Abstracts of the XLV International youth scientific conference "Gagarin readings". 2019. c. 125.

2. Kuznetsova V. A., Shapovalov G. G. Development trends in the field of erosion-RESISTANT coatings // Electronic journal "Proceedings of VIAM» №11. 2018. c. 74.

3. Jiao Chen, Mingrui Geng, Yuqin Li, Zhufang Yang, Yan Chai, Guangyu He // Coatings 2019, 9(2), 2019, c. 64.

Оптимизация положения сплиттеров в центробежном колесе для снижения пульсаций давления ЧСЛ в центробежных лопаточных машинах

¹Тимушев С.Ф., ¹Кондратов А.В., ¹Клименко Д.В., ²Ли Джавен

¹МАИ, г. Москва, Россия

²ПАКУ, г. Пекин, Китай

Для задач оптимизации по гидродинамическому шуму и пульсациям давления в выходной части отвода и напорном трубопроводе необходимо применять акустико-вихревой метод, который базируется на представлении поля скорости в сжимаемой среде как суммы акустической и вихревой моды движения, что позволяет учесть в численном моделировании псевдо-звуковые колебания давления в радиальном зазоре между ротором и статором (вихревая мода) и акустические волны, распространяющиеся по тракту.

Первоначальные вычислительные эксперименты выполнены в двумерной постановке для центробежного насоса с простой улиткой и относительным радиальным зазором между колесом и языком улитки 30% от радиуса центробежного колеса. В выходном сечении насоса поставлено условие единичного удельного акустического импеданса.

Рассмотрены четыре изменения геометрии центробежного колеса за счет смещения дополнительных укороченных лопаток так, что входная кромка короткой лопатки смещается в низкоэнергетическую зону, и лопатка смещается ближе к всасывающей стороне основного канала.

Во всех вычислительных экспериментах профиль основной длинной лопатки оставался неизменным. Изменение радиальной и окружной компоненты абсолютной скорости вдоль шага лопаточной решетки на выходе центробежного колеса показывает существенное изменение неравномерности потока. Можно отметить, что укороченные лопатки дают дополнительный пик на графике скорости. Для оптимального варианта два пика в распределении скорости примерно одинаковы, что дает более сбалансированный поток в выходном сечении колеса.

Расчеты пульсаций давления показали, что применение дополнительных лопаток снижает амплитуду первой гармоники лопаточной частоты, хотя и может увеличить амплитуду второй гармоники. Для оптимального варианта амплитуда первой гармоники лопаточной частоты снижается более, чем в три раза по сравнению с вариантом без дополнительных лопаток.

Дальнейшая работа связана с использованием трехмерной версии акустико-вихревого метода, провести расчеты для воздушной модели, разработанной в ПАКУ.

Optimization of the position of splitters in the centrifugal impeller to reduce BPF pressure pulsations in centrifugal bladed machines

¹Timushev S.F., ¹Kondratov A.V., ¹Klimenko D.V., ²Li J.

¹MAI, Moscow, Russia

²BUAA, Beijing, China

For optimization problems with respect to hydrodynamic noise and pressure fluctuations in the pump outlet and in the pressure pipeline, it is necessary to apply the acoustic-vortex method, which is based on the representation of the velocity field in a compressible medium as the sum of the

acoustic and vortex modes of motion, which makes it possible to take into account pseudo-acoustic perturbations in the numerical simulation pressure in the radial gap between the rotor and the stator (vortex mode) and acoustic waves propagating within the flow path. Initial computational experiments were performed with a two-dimensional formulation for a centrifugal pump with a simple volute and a relative radial gap 30% of the radius of the centrifugal impeller between the impeller and the volute tongue. The condition of specific acoustic impedance is set a unit in the pump outlet section. Four changes in the geometry of the centrifugal impeller are considered with the displacement of additional shortened blades so that the leading edge of the short blade is displaced into the low-energy zones, and the blade is displaced closer to the suction side of the main channel. In all computational experiments, the profile of the main long blade remained unchanged. The change in the radial and circumferential components of the absolute velocity along the step of the blade cascade at the outlet of the centrifugal impeller shows a significant change in the nonuniform flow. It can be noted that shortened blades give an additional peak on the velocity graph. For the optimal variant, the two peaks in the velocity distribution are approximately the same, which gives a more balanced flow at the impeller outlet section. Calculations of pressure pulsations have shown that the use of additional blades reduces the amplitude of the first harmonic of the blade frequency, although it can increase the amplitude of the second harmonic. For the optimal variant, the amplitude of the first harmonic of the blade frequency is reduced by more than three times compared to the variant without additional blades. Further work is related to the use of a three-dimensional version of the acoustic-vortex method to carry out calculations for an air model developed in BUAA.

Характер влияния турбулентных чисел Шмидта на численное моделирование химических процессов в камерах сгорания тепловых двигателей

Тюльков К.В., Строкач Е.А., Боровик И.Н., Бляхарский С.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время существует необходимость создания универсальной методики исследования сложных химических, термодинамических и тепловых процессов в камерах сгорания тепловых двигателей летательных аппаратов отвечающей требованиям инженерной точности и удобства использования. Особенно явно эта проблема стоит для ракетных двигателей малой тяги из-за высоких требований, предъявляемых к их камерам сгорания таких как: стабильность работы, устойчивость горения, прочность конструкции в условиях высоких температур и надежность узлов в сложных условиях работы. В мире проведено немало экспериментальных исследований натуральных образцов и тестовых моделей камер сгорания, а также проведено множество исследований на основе численных методов математического моделирования рабочих процессов в камерах сгорания, основанных на уравнениях, описывающих процессы химической кинетики, физики распространения теплового излучения, и уравнениях, описывающих движение жидкости и газа.

Несмотря на огромный исследовательский задел, одновременно с этим остаются некоторые проблемы точности решения при использовании математических моделей выявляемые в частности при их верификации и валидации с экспериментальными тестовыми задачами проведенными университетами, крупными исследовательскими центрами, и научно исследовательскими институтами. Многие из них исследуют влияние коэффициентов, входящих в те или иные компоненты уравнений, описывающих физические явления. В данной работе исследуется влияние на результаты коэффициента, входящего в компонент диффузии уравнения смещения близких по плотности химических веществ элементов топлива и продуктов сгорания, называемый турбулентным числом Шмидта. В данном случае ставилась задача сравнить результаты решения с экспериментальными данными по профилю давления на стенке КС, тепловому потоку в стенку при варьировании коэффициента и выявить его влияние на итоговое решение.

Эта работа была выполнена на средства, выделенные Министерством науки и высшего образования по теме FSFF-2020-0014.

The nature of the influence of turbulent Schmidt numbers on the numerical simulation of chemical processes in the combustion chambers of heat engines

Tyul'kov K.V., Strokach E.A., Borovik I.N., Blyakharsky S.S.

MAI, Moscow, Russia

Currently, there is a need to create a universal methodology for studying complex chemical, thermodynamic and thermal processes in the combustion chambers of aircraft heat engines that meets the requirements of engineering accuracy and ease of use. This problem is particularly evident for thruster engines due to the high requirements for their combustion chambers such as: stability, combustion stability, structural strength while the high temperatures and reliability of components in difficult operating conditions. In the world, many experimental studies of full-scale samples and test models of combustion chambers have been conducted, as well as many studies based on numerical methods for mathematical modeling of working processes in combustion chambers based on equations describing the processes of chemical kinetics, physics of thermal radiation propagation, and equations describing the movement of liquid and gas.

Despite the huge research backlog, at the same time there are still some problems with the accuracy of the solution when using mathematical models, which are identified in particular when they are verified and validated with experimental test tasks conducted by universities, large research centers, and research institutes. Many of them study the influence of coefficients included in certain components of equations describing physical phenomena. In this paper, we study the effect on the results of the coefficient included in the diffusion component of the mixing equation of similar density of chemical substances of fuel elements and combustion products, called the turbulent Schmidt number. In this case, the task was to compare the results of the solution with experimental data on the pressure profile on the combination chamber's wall, the heat flow into the wall when the coefficient varies, and to identify its influence on the final solution.

This research was funded by the Russian Ministry of Science and Education (project FSFF-2020-0014).

Разработка метода расчёта и создание вихревой регулирующей арматуры для управления расходом газа

Усс А.Ю., Чернышев А.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Работа посвящена разработке вихревых струйных устройств (ВСУ), предназначенных для управления расходом газа. Данный тип арматуры не содержит механически подвижных частей и применяется там, где невозможно применение существующих запорно-регулирующих устройств: для управления высокотемпературными, химически агрессивными и запыленными газами. Основоположниками разработки ВСУ в 60-70 годах были США, Россия, Великобритания, Германия, Чехия, Канада. Военные использовали ВСУ для создания высоконадежных и компактных средств управления летательными аппаратами, которые могут противостоять сильнейшим перегрузкам, радиационным и электромагнитным воздействиям. В результате обзора научно-технической литературы обнаружен ряд систем автоматического управления с применением ВСУ, к которым можно отнести: управления тягой и вектором тяги силовых установок. Известные математические модели рабочего процесса, протекающего в рабочей полости ВСУ основывались на эмпирических зависимостях, которые на практике могут служить лишь в первом приближении для расчёта подобного рода конструкций. В связи с отсутствием отлаженных алгоритмов проектирования, большинство из рассмотренных схем так и не было доведено до широкого практического применения. В связи с этим, в данной работе разработан алгоритм проектирования ВСУ, который включает в себя ряд этапов. На первом этапе проведён синтез расчетной схемы, при помощи разработанной классификации ВСУ по ряду конструктивных и функциональных признаков. Затем составлена математическая модель рабочего процесса, протекающего в рабочей полости ВСУ, которая решена численным методом. На следующем этапе разработан стенд и методика проведения экспериментальных исследований. Проведена верификация математической модели. Разработанный алгоритм проектирования

ВСУ прошёл верификацию на принципиально новой геометрии рабочей полости с торообразной вихревой камерой и распределённой по периметру вихревой камеры подачей питающего и управляющего потоков рабочей среды. В результате проделанной работы, разработан инструмент, позволяющий разработчикам проводить разработку новых ВСУ в интерактивном режиме, а также повысить эффективность проектирования и сократить сроки на разработку за счёт возможности внесения изменения в конструктивную схему ещё на этапах проектирования. Предложенный подход прошёл апробацию при создании газореактивного привода, в котором реализована система управления тягой при помощи ВСУ.

Development of a method for calculating and creating vortex control valves for gas flow control

Uss A.Y., Chernyshev A.V.
BMSTU, Moscow, Russia

The work is devoted to the development of vortex jet devices (VJD) designed to control the gas flow rate. This type of valve does not contain mechanically moving parts and is used where it is impossible to use existing shut-off and control devices: to control high-temperature, chemically aggressive and dusty gases. The founders of the development of the Armed Forces of Ukraine in the 60-70s were the USA, Russia, Great Britain, Germany, Czech Republic, Canada. The military used the VJD to create highly reliable and compact aircraft control systems that can withstand severe overloads, radiation and electromagnetic influences. As a result of a review of scientific and technical literature, a number of automatic control systems with the use of an VJD were found, which include: thrust and thrust vector control of power plants. The well-known mathematical models of the working process flowing in the working cavity of the VJD were based on empirical dependencies, which in practice can serve only as a first approximation for calculating such structures. Due to the lack of debugged design algorithms, most of the considered schemes have not been brought to wide practical use. In this regard, in this work, an algorithm for designing an VJD has been developed, which includes a number of stages. At the first stage, the synthesis of the design scheme was carried out using the developed classification and the VJD for a number of design and functional features. Then, a mathematical model of the working process proceeding in the working cavity of the VJD was compiled, which was solved by a numerical method. At the next stage, a stand and a methodology for conducting experimental studies were developed. The verification of the mathematical model was carried out. The developed algorithm for the design of the VJD was verified on a fundamentally new geometry of the working cavity with a toroidal vortex chamber and the supply of the supply and control flows of the working medium distributed along the perimeter of the vortex chamber. As a result of the work done, a tool has been developed that allows developers to develop new VJD in an interactive mode, as well as to increase the design efficiency and reduce development time due to the possibility of making changes to the design scheme at the design stages. The proposed approach was tested when creating a gas-jet drive, in which a thrust control system using an VJD is implemented.

Расчет прочности сцепления керамического покрытия на металлических деталях авиационного двигателя

Фертиков А.О., Силуянова М.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Разрушение системы “покрытие – основа” может быть адгезионным и когезионным. Существующие методы экспериментального определения прочности сцепления покрытий с основой лишь фиксируют характер разрушения, но не устанавливают количественной связи истинной прочности сцепления. Поэтому результаты прочности сцепления покрытия с основой для одной и той же системы, как правило, значительно расходятся. Основные допущения при разработке модели прогнозирования прочности керамического покрытия:

1. Рассматривается частица вещества покрытия массой m , сцепленная с основой в результате растекания жидкой капли или ее соударения с поверхностью основы. Контакт частицы с основой характеризуется, величиной радиуса.

2. Покрытие рассматривается как совокупность однородных частиц, равномерно распределенных на элементе поверхности основы.

3. Разрушение покрытия принимается адгезионным.

4. Механизм образования покрытия учитывается в уравнении баланса энергий.

Расчетные методы оценки прочности основываются на определении работы адгезии, которая выражается через удельную поверхностную энергию на контактной границе покрытия с основой. Учет поверхностного взаимодействия далеко не исчерпывает диссипацию полной энергии кристаллизующегося вещества на поверхности твердой основы. Анализ механики разрушения покрытий указывает на другой основной физический признак их работоспособности – отслаивание покрытия от основы. Тогда под прочностью сцепления покрытия надо понимать способность покрытия противостоять его отслаиванию от основы.

Разработана методика расчета прочности сцепления покрытия, учитывающая следующие технологические параметры:

- Нормальное и тангенциальное напряжение в покрытии на контактной границе;
- Угол развития трещины при отслаивании покрытия под действием напряжений;
- Величина радиуса закристаллизовавшейся капли в зоне контакта с основой;
- Энергия образования твердого покрытия;
- Удельная теплота плавления (кристаллизации) вещества покрытия;
- Скорость соударения капли жидкости с основой;
- Коэффициент рассеивания энергии удара капли жидкости о поверхность основы;
- Коэффициент степени черноты вещества покрытия;
- Удельная межфазная энергия системы "покрытие – основа";
- Время кристаллизации жидкой капли;
- Толщина основы;
- И др.

Данная модель расчета применялась при разработке керамоматричного подшипника скольжения и позволила существенно сократить сроки и трудозатраты на выполнения работ.

Calculation of the adhesion strength of a ceramic coating on metal parts of an aircraft engine

Fertikov A.O., Siluyanov M.V.
MAI, Moscow, Russia

Failure of the "coating – base" system can be adhesive and cohesive. The existing methods for the experimental determination of the adhesion strength of coatings to the base only record the nature of destruction, but do not establish a quantitative relationship between the true adhesion strength. Therefore, the results of the adhesion of the coating to the substrate for the same system, as a rule, differ significantly. The main assumptions when developing a model for predicting the strength of a ceramic coating:

1. Consider a coating substance particle of mass m , adhered to the base as a result of the spreading of a liquid drop or its collision with the base surface. The contact of the particle with the base is characterized by the size of the radius.

2. The coating is considered as a collection of homogeneous particles evenly distributed on the element of the base surface.

3. The destruction of the coating is assumed to be adhesive.

4. The mechanism of coating formation is taken into account in the energy balance equation.

Calculation methods for assessing strength are based on determining the work of adhesion, which is expressed in terms of the specific surface energy at the contact boundary of the coating with the base. Taking into account the surface interaction by no means exhausts the dissipation of the total energy of the crystallizing substance on the surface of the solid base. Analysis of the fracture mechanics of coatings indicates another basic physical sign of their performance – the peeling of the coating from the base. Then the adhesion strength of the coating should be understood as the ability of the coating to resist its peeling from the base.

A method for calculating the adhesion strength of a coating has been developed, taking into account the following technological parameters:

- Normal and tangential stress in the coating at the contact boundary;
- The angle of crack propagation when the coating peels off under the action of stresses;
- The value of the radius of the crystallized drop in the zone of contact with the base;
- Energy of formation of a hard coating;
- Crystallization of the coating substance;
- The speed of collision of the liquid drop with the base;
- Coefficient of dissipation of energy of impact of a liquid drop on the surface of the base;
- And etc.

This method was used in the development of a ceramic-matrix plain bearing and allowed to significantly reduce the time and labor costs for performing work.

Совершенствование проточной части осевых малоразмерных газовых турбин

Фершалов Ю.Я., Коршунов В.Н., Цыганкова Л.П.

ДФФУ, г. Владивосток, Россия

В работе рассмотрены результаты исследования турбин с требованиями, ограничивающими их масса-габаритные характеристики и массовый расход газа, количество которого недостаточно для создания турбиной необходимой мощности при докритических перепадах энтальпий. С целью повышения эксплуатационных характеристик подобных турбин разработан и реализован ряд конструктивных решений.

1. Угол выхода сопел менее 9° (предложено профессором ЛПИ, д.т.н. И.И. Кирилловым).

2. Сопла имеют прямолинейную ось.

3. Рабочее колесо выполнено с козырьками, частично интегрированными в проточную часть сопел.

Экспериментальные исследования подтвердили перспективность предлагаемых конструктивных решений:

- Уменьшение угла выхода сопел до 5° дает положительный эффект при условии, если уменьшение углов выхода сопел $16^\circ \dots 20^\circ$ приводит к уменьшению степени парциальности до значений менее 0,2;

- Выполнение проточной части сопел без поворотов с углом выхода 5° позволило достигнуть значение КПД – 0,62;

- Максимальный КПД модельной малоразмерной турбины более чем на 7% выше, за счет изготовленного рабочего колеса, имеющего корневой и периферийный козырьки, частично интегрированные в проточную часть сопел, чем КПД однотипной турбины без козырьков.

На основании проведенных экспериментальных исследований и классических представлений об явлениях, сопровождающих течение газа в каналах, а также с учетом влияния сопел на уровень КПД малоразмерных турбин предложено:

1. Профилировать проточную часть сопел зависимыми сечениями начиная с круглого сечения на входе к прямоугольной форме в выходном сечении.

2. При необходимости применения сужающейся-расширяющейся формы сопла выполнять после критического сечения левую и правую части сопла в виде цилиндрических поверхностей, соединив их между собой поверхностями, которые на выходной поверхности соплового аппарата представляют дуги окружностей соединяющие крайние поверхности.

Приведенные направления совершенствования конструкции могут использоваться не только в малоразмерных турбинах, в которых это особенно актуально, но и в турбинах, имеющих большие сечения проточных частей.

Improvement of the flow path of axial small-sized gas turbines

Fershalov Y.Y., Korshunov V.N., Tsigankova L.P.

FEFU, Vladivostok, Russia

The paper considers the results of a study of turbines with requirements limiting their mass-dimensional characteristics and the mass flow rate of gas, the amount of which is insufficient to

create a turbine of the required power at subcritical enthalpy differences. In order to improve the performance of such turbines, a number of design solutions have been developed and implemented.

1. Angle of exit of nozzles less than 9° (suggested by professor LPI, doctor of technical sciences I.I. Kirillov).

2. The nozzles have a straight axis.

3. The impeller is made with canopies, partially integrated into the flow path of the nozzles.

Experimental studies have confirmed the promise of the proposed design solutions:

- Reducing the nozzle exit angle to 5° gives a positive effect, provided that the use of nozzle exit angles of $16^\circ \dots 20^\circ$ leads to a decrease in the degree of partiality to values less than 0.2;

- Execution of the flow path of the nozzles without turns with an exit angle of 5° made it possible to achieve an efficiency value of 0.62;

- The maximum efficiency of a model small-sized turbine is more than 7% higher, due to the manufactured impeller, which has a root and peripheral visors, partially integrated into the flow path of the nozzles, than the efficiency of a turbine of the same type without visors.

Based on the experimental studies and classical concepts of the phenomena accompanying the gas flow in the channels, as well as taking into account the effect of nozzles on the efficiency level of small-sized turbines, it is proposed:

1. Profile the flow path of the nozzles with dependent sections starting from a circular section at the inlet to a rectangular shape in the outlet section.

2. If it is necessary to use a converging-expanding nozzle shape, after the throat section, make the left and right parts of the nozzle in the form of cylindrical surfaces, connecting them with each other by surfaces, which on the outlet surface of the nozzle apparatus are circular arcs connecting the extreme surfaces.

The above directions for improving the design can be used not only in small-sized turbines, in which this is especially important but also in turbines with large cross-sections of flow paths.

Начальный этап проектирования ГТД со взлетной тягой 235 кН для использования на дальнемагистральных самолетах

Филинов Е.П., Пашкова Н.Д., Безбородова К.В., Боброва Е.А.
Самарский университет, г. Самара, Россия

Одной из важнейших и актуальных задач современного проектирования является выбор оптимальных значений параметров рабочего процесса авиационных газотурбинных двигателей (в дальнейшем ГТД). Исходя из них, а также некоторых основных параметров самолетов произведено исследование, которое позволит снизить стоимость всех этапов жизненного цикла газотурбинного двигателя и трудность при его проектировании.

В начале проведено изучение рынка летательных аппаратов. Согласно данным РБК ДМС в России 130 единиц самолетов.

Дальнейшим важным этапом работы стало рассмотрение количества необходимых двигателей для самолета. Выбран вариант самолета с наиболее благоприятным количеством двигателей. Таким летательным аппаратом стал самолет с двумя газотурбинными двигателями.

Был рассмотрен не только классический вариант установки двигателя под крылом на пилонах, но и расположение авиаагрегата в хвостовой части и над крылом. Самым оптимальным вариантом расположения являются самолеты с авиаагрегатами под фюзеляжем.

Далее произведено исследование необходимых параметров, которые нужны для дальнейшей оценки работы двигателя. В качестве критериев анализа выбраны: суммарная масса силовой установки и топлива, потребного на полет на заданную дальность $M_{(cy+t)}$, удельный расхода топлива двигателя – на крейсерском режиме полета $C_{уд}$ и затраты топлива (в кг) на 1 тонна-километр перевезенного груза $C_{(т.км)}$. Для их оценки произведено моделирование в САЕ-системе «АСТРА», так как погрешность расчетов в данной программе минимальна (менее 1% по отношению к реальным значениям). Для дальнейшего моделирования были выбраны Boeing 747, CR 929 и Airbus A340 из-за

оптимального количества двигателей и требуемой тяги. Меняя основные параметры рабочего процесса, построены графические зависимости критериев эффективности для выбранных самолетов. Наиболее подходящим летательным аппаратом для установки проектируемого в данной работе двигателя является самолет CR929-600. Наиболее выгодные значения наблюдаются при $m=8$, $T_g=1575$ К и $P_{(k_сумм)}=26$. $C_{уд}$ является приблизительно равной величиной (58,022 кг/кН·ч), поэтому не учитывается при рассмотрении, а $M_{(су+т)}$ и $C_{(т.км)}$ минимальны для самолета CR 929-600 (18,885 и 0,185 соответственно). Графические соотношения рассматриваемых величин совпадают с идеальными теоретическими с достаточно большой точностью (менее 3%), что показывает высокие характеристики проектируемого двигателя.

The initial design stage of a gas turbine engine, with a given thrust 235 кН for use on long-haul aircraft

Filinov E.P., Pashkova N.D., Bezborodova K.V., Bobrova E.A.
Samara University, Samara, Russia

One of the most important and urgent tasks of modern design is the choice of optimal values of the parameters of the working process of aviation gas turbine engines (here and after GTE). Based on them and some basic aircraft parameters the research was carried out, which will reduce the cost of all stages of life cycle of a gas turbine engine and the difficulty in its design.

In the beginning, a study of the aircraft market was carried out. According to RBC DMS, there are 130 aircrafts in Russia.

The next important phase of work was the consideration of the number of required engines for the aircraft. A variant of an aircraft with the necessary and favorable number of engines was chosen. Such an aircraft was an aircraft with two gas turbine engines.

Not only the classic version of installing the engine under the wing on pylons was considered, but also the location of the engine in the tail section and above the wing. The best location option is under fuselage.

Next, a study of the necessary parameters that are needed for further evaluation of engine performance was made. The following criteria were selected for the analysis: a total weight of the power plant and fuel required for flight at a given range $M_{(су+т)}$; specific engine fuel consumption – in cruise flight mode $C_{уд}$ and fuel consumption (in kg) per 1 ton-kilometer of the transported cargo $S_{(т.км)}$. For their assessment simulation was made in the CAE-system "ASTRA", since the calculation error in this program is minimal (less than 1% in relation to real values). For further simulations were selected Boeing 747, CR 929 and Airbus A340 due to the optimal number of engines and required thrust. By changing the basic parameters of the working process, graphical dependences of the efficiency criteria for the selected aircrafts were built. An aircraft CR929-600 is the most suitable one for the installation of designed engine. The most profitable values are observed at $m = 8$, $T_g = 1575$ K and $P_{(k_sum)} = 26$. TSFC is approximately equal (58.022 kg / kN*h), therefore it is not taken into account, and $M_{(су+т)}$ and $S_{(т.км)}$ are minimal for aircraft CR 929-600 (18.885 and 0.185, respectively). Graphic ratios of the considered quantities coincide with the ideal theoretical ones with a sufficiently large accuracy (less than 3%), which shows the high characteristics of the designed engine.

Метод быстрого прогноза шума летательного аппарата с распределенной силовой установкой в дальнем поле

Чэнь Болунь

МАИ, г. Москва, Россия

Проблема шума распределённой силовой установки (PCY) для перспективного регионального самолета короткого взлета и посадки в последнее время становится все более актуальной. С одной стороны, подобная конструкция может обеспечить значительную экономию топлива и улучшение взлётно-посадочных характеристик, а с другой, винтовые самолеты являются достаточно шумными летательными аппаратами по отношению к реактивным самолетам с турбовентиляторными двигателями при одних и тех же взлетных массах. Эти факторы приводят к задаче поиска оптимальной компоновки, в которой

взаимное расположение винтов по отношению к планеру могло бы привести к снижению шума на местности.

Для проведения быстрого анализа шумового воздействия летательного аппарата с распределенной силовой установкой необходимо иметь метод быстрого прогноза уровней шума для различных компоновок летательных аппаратов с PCY.

В рассматриваемой работе модели используется акустическая модель излучения только воздушного винта. При этом не учитываются широкополосный шум и нестационарная составляющая шума вращения. Тональные составляющие шума воздушного винта рассчитываются для шума вытеснения и шума от установившейся аэродинамической нагрузки. В рассматриваемой модели используются только основные геометрические и аэродинамические параметры воздушных винтов.

Было получено, что шум вытеснения не оказывает существенного влияния на суммарное излучение PCY, пока концевая скорость лопастей не становится близкой к скорости звука. Поэтому далее оценивался только шум от установившейся нагрузки. Для проверки адекватности модели была использована модель GL-10 – концепция летательного аппарата, разработанная НАСА, для проверки технологий PCY и ЛА с вертикальным взлетом и посадкой. Сравнение показало хорошее совпадение полученных результатов и данных по модели GL-10.

Fast prediction method of aircraft noise with distributed propulsion in the far field

Chen Bolun

MAI, Moscow, Russia

The problem of distributed propulsion (DP) noise for advanced regional short-takeoff and landing aircraft has recently become more and more relevant. On the one hand, such a design can provide significant fuel savings and improve take-off and landing characteristics, and on the other, propeller-driven aircraft are quite noisy aircraft in relation to jet aircraft with turbofan engines at the same take-off masses. These factors lead to the task of finding the optimal configuration in which the relative position of the propellers relative to the airframe could lead to reduced noise on the ground.

To perform a rapid analysis of the noise impact of an aircraft with a distributed power plant, it is necessary to have a method for quickly predicting noise levels for different configurations of aircraft with a DP.

In this paper, the model uses an acoustic radiation model of only the propeller. Broadband noise and the unsteady loading noise are not taken into account. The tonal components of the propeller noise are calculated for thickness noise and steady load noise. In this model, only the basic geometric and aerodynamic propellers parameters are used.

It was found that the thickness noise does not significantly affect the total radiation of the DP until the end speed of the blades becomes close to the sound speed. Therefore, only the noise from the steady load was evaluated further. To test the adequacy of the model, the GL-10 model was used, a concept of an aircraft developed by NASA to test the DCS and AIRCRAFT technologies with vertical take-off and landing. The comparison showed a good agreement between the results obtained and the data for the GL-10 model.

Оценка реализуемости требований тактико-технического задания на разработку самолета и его силовой установки

Шапошников Е.С.

ПАО «Туполев», г. Москва, Россия

Показатель реализуемости требований тактико-технического задания (ТТЗ) на авиационный комплекс и его силовую установку (СУ) является одним из ключевых и в настоящее время оценивается субъективно и только качественно, в то время как количественная оценка особенно необходима на начальном этапе проектирования.

В соответствии с действующей методологией проектирования работы проводятся с помощью детерминированных моделей, которые не учитывают элемент неопределенности в выборе исходных данных. Неточности в их количественном назначении оказывают

существенное влияние на выходные интегральные характеристики и не позволяют сделать объективный вывод о реализуемости требований ТТЗ.

Количественно оценить риск невыполнения требований ТТЗ возможно в стохастической постановке на основе статистических моделей.

Исходная информация по СУ может задаваться отклонением как интегральных характеристик (тяги R и удельного расхода топлива CR) на основных режимах работы двигателя, так и более детальным рассмотрением риска отклонения характеристик ее узлов от прогнозируемых значений. Применять первый подход целесообразно на начальных этапах разработки двигателя, когда невозможно с высокой долей уверенности спрогнозировать большой массив параметров практически всех его элементов, а второй подход применим при создании двигателя на базе уже существующих образцов со значительной степенью отработанных элементов, что позволяет значительно сократить массив рассматриваемых случайных факторов.

Оценку влияния факторов на целевые функции в первом приближении удобно производить с помощью коэффициентов влияния, которые характеризуют изменение значения функции при 1%-м приращении величины рассматриваемого параметра относительно его номинального значения. Определив факторы, оказывающие наибольшее влияние, для удобства дальнейших расчетов целесообразно минимизировать и их количество, используя закон Парето.

Основной сложностью всей работы является определение диапазона отклонения основных исходных параметров системы от их проектных значений, а также назначение закона их распределения в пределах установленного диапазона.

Из применяемых на практике статистических методов оценки распределения выходных характеристик рассматриваемой системы наиболее простым, достаточно надежным и не очень трудоемким является метод Монте-Карло.

Evaluation of the feasibility of the requirements of the tactical and technical task for the development of the aircraft and its power plant

Shaposhnikov E.S.

PJSC "Tupolev", Moscow, Russia

The indicator of the feasibility of the requirements of the tactical and technical task (TTT) for the aviation complex and its power plant (PP) is one of the key ones and is currently evaluated subjectively and only qualitatively, while a quantitative assessment is especially necessary at the initial stage of design.

In accordance with the current design methodology, work is carried out using deterministic models that do not take into account the element of uncertainty in the selection of source data. Inaccuracies in their quantitative purpose have a significant impact on the output integral characteristics and do not allow us to make an objective conclusion about the feasibility of the requirements of the TTT.

It is possible to quantify the risk of non-compliance with the requirements of the TTT in a stochastic formulation based on statistical models.

The initial information on the PP can be set by the deviation of both the integral characteristics (thrust R and specific fuel consumption CR) in the main engine operating modes, and by a more detailed consideration of the risk of deviation of the characteristics of its components from the predicted values. It is advisable to use the first approach at the initial stages of engine development, when it is impossible to predict with a high degree of confidence a large array of parameters of almost all its elements, and the second approach is applicable when creating an engine based on existing samples with a significant degree of spent elements, which can significantly reduce the array of random factors considered.

It is convenient to estimate the influence of factors on target functions in the first approximation using influence coefficients that characterize the change in the value of the function with a 1% increment in the value of the parameter under consideration relative to its nominal value. Having

determined the factors that have the greatest impact, for the convenience of further calculations, it is advisable to minimize their number using Pareto's law.

The main difficulty of the whole work is to determine the range of deviations of the main initial parameters of the system from their design values, as well as to assign the law of their distribution within the established range.

Of the statistical methods used in practice to estimate the distribution of output characteristics of the system under consideration, the Monte Carlo method is the simplest, fairly reliable, and not very time-consuming.

Анализ влияния торцевого зазора на статическое давление в гидродинамическом демпфере

Шляндина Н.С., Новиков Д.К.

Самарский Университет, г. Самара, Россия

В настоящее время считается, что одним из наиболее распространенных способов снижения вибрации в ракетных и авиационных двигателях является применение демпфирующих устройств в опорах. Анализ конструкций различных двигателей показывает, что наибольшее применение получили гидродинамические демпферы (ГДД). Тем не менее, физические процессы, происходящие в ГДД, еще недостаточно изучены.

Эффективность работы ГДД определяется его демпфирующей способностью, которую можно увеличить путём повышения давления подачи смазки. Это давление обеспечивается маслосистемой конкретного двигателя. Статическое давление, возникающее в зазоре, зависит от конструктивных особенностей демпфера. При малом статическом давлении в зазоре может возникнуть разрыв слоя смазки из-за того, что динамическое давление в отрицательной зоне превысит давление в зазоре.

В работе предложена методика расчёта статического давления в зазоре в зависимости от давления подачи, основанная на балансе расходов на входе и выходе из демпфера. Были выявлены параметры, влияющие на статическое давление: торцевой зазор в демпфере и его длина, количество, длина и диаметр питающих отверстий. Проведены расчеты для разных величин торцевого зазора, количества и диаметра питающих отверстий. Показано, что наиболее сильное влияние оказывает величина торцевого зазора.

Известно, что ГДД может быть «длинным» или «коротким». В «длинном» демпфере, при колебаниях, смазка перетекает, в основном, по окружности. В «коротком» демпфере преобладает движение смазки в осевом направлении.

В результате расчётов было выяснено, что статическое давление в зазоре «короткого» демпфера можно изменить, увеличивая или уменьшая величину торцевых зазоров. С физической точки зрения, при уменьшении торцевого зазора, торцевые утечки будут падать, что приведёт к тому, что ГДД станет работать по принципу «длинного» демпфера. Это может привести к падению давления до значений равных давлению насыщенных паров, что, в свою очередь, может вызвать разрывы в слое смазки. Однако, в таком случае этом сила демпфирования значительно возрастёт.

Было определено, что при увеличении торцевых зазоров, статическое давление во внутреннем зазоре демпфера будет падать, что приведёт к ухудшению демпфирующих характеристик данного ГДД. Следовательно, для получения более эффективно работающего демпфера, при прочих равных данных, нужно проектировать его с меньшими торцевыми зазорами.

Analysis of the end clearance influence on the static pressure in the squeeze film dampers

Shliandina N.S., Novikov D.K.

Samara University, Samara, Russia

Currently, usage of damping devices is considered to be one of the most highly used ways of vibration reduction. It is shown by the engine construction analysis, that squeeze film dampers (SFD) is the dampers that are used most often. Nevertheless, the physical processes occurring in SFD are still studied insufficiently.

The efficiency of the SFD is determined by its damping ability, which can be increased by rising the lubricant supply pressure. This kind of pressure is determined by the oil system of the engine. The static pressure in the film depends on the design of the damper. At the low values of static pressure in the film, a rupture of the lubricant layer may occur due to the fact that the dynamic pressure in the negative zone exceeds the pressure in the gap.

This paper proposes a method for calculating the static pressure in the film depending on the supply pressure, based on the balance of the flow rates at the inlet and outlet of the damper. The parameters affecting the static pressure were identified: the end clearance and length of the damper, the number, length and diameter of the feed holes. Calculations were performed for different dimensions of the end clearance and the number and diameter of the feeding holes. The results are showing that the strongest influence is caused by the dimensions of the end clearance.

It is known that SFD can be "long" or "short". In the "long" damper the lubricant flows mainly around the circumference during oscillations. In the "short" damper, the lubricant movement in the axial direction prevails.

As the result of calculations, it was found that the static pressure in the film land of the "short" damper can be changed by altering the value of the end clearances. With a decrease in the end clearance, the leakage from the end gaps will drop, which will lead to the SFD working as a "long" damper. This can lead to a drop in pressure to the values of the saturated vapor pressure, which can cause ruptures in the lubricant film. However, in this case, the damping force will increase significantly.

It is determined that with an increase in the end clearances, the static pressure in the film of the damper will drop, which will lead to a decrease in the damping characteristics of the SFD. Therefore, in order to obtain a more efficient damper, it is necessary to design it with smaller end clearances.

2.1. Международная конференция «Прикладная сверхпроводимость и криогеника в энергосистемах»

2.1. Applied Superconductivity and Cryogenics in Power Systems» (ASCPS-2020)

Overview of HTS Superconducting Machines

Bruno Douine

University of Lorraine, Nancy, France

Improving the performance of electrical machines is always a big challenge for all manufacturers and academic researchers. By increasing the magnetic field in the electrical machine, it is possible to improve the machine's performances. The characteristics of the superconducting materials are very interesting and promising to design high performances generators or motors. One of the main important properties of superconducting materials is their abilities of suppressing the Joule losses and their very high current densities. Therefore, these materials are convenient to generate high magnetic field in the air-gap in order to obtain high performance electrical machines. Another of the advantages is the ability of a bulk superconducting material to shield or to trap the magnetic field.

In this presentation an overview of electric machines which use High Temperature Superconducting (HTS) materials made these last years is presented. Electromagnetic features of HTS do them interesting for electric applications and especially machines.

The first part of this article will therefore be devoted to the study of the most interesting properties of HTS bulks and HTS tapes. For instance, the knowing of AC losses in HTS tapes and coils is essential in many respects as the design of cryogenic sections.

In the second section several types of HTS machines are presented. Most of them are partially superconductors, some others are fully superconductors.

FUTPRINT50: Future Propulsion and Integration towards a hybrid-electric 50-seat regional aircraft – is this a showcase for a Cryogenic Vision

Andreas Strohmayer, Dominique Bergmann

University of Stuttgart, Stuttgart, Germany

FUTPRINT50 is an EU funded collaborative research project set out to identify and develop technologies and configurations that will accelerate the entry-into-service of a commercial hybrid-electric aircraft in a class of up to 50 seats by 2035/40. It will be implemented thanks to a highly competent international consortium that brings together a mix of expertise abridging the EU with UK, Russia, USA and Brazil. FUTPRINT50 receives support also from an Advisory Board that includes the European Union Aviation Safety Agency (EASA) as well as further industrial and research partners.

With a strong focus on the deep decarbonisation of aviation, FUTPRINT50 researchers aim to develop promising modelling and simulation tools, innovative aircraft electrification technologies and a common roadmap for technology and regulation for this class of hybrid-electric aircraft. A new type of hybrid-electric 50-seat class aircraft being more fuel and noise efficient than current regional aircrafts could contribute to open up new point-to-point connections between smaller cities at lower infrastructure costs than rail or road transportation.

The presentation will lay out the objectives of the FUTPRINT50 project, such as

- Providing an open reference for a 50-seat hybrid-electric aircraft configuration, including top level aircraft requirements, mission specifications and figures of merit.
- Development of innovative models, methodologies, open datasets & tools for evaluating the feasibility & multifidelity trade-offs of architectures & key technologies.

- Development of a publicly available Common Research Model for Electrified Aircraft & Propulsion for the universal integration, benchmarking & assessment of future technologies, architectures, designs, models & policies.

- Development of energy storage models & pack solutions suitable for hybrid-electric regional flight up to TRL3.

- Development of propulsion related energy harvesting technologies up to TRL 4 and thermal management integration solutions and models up to TRL 3/4.

- Development of roadmaps for technology and regulation for a hybrid-electric regional aircraft and for future European demonstrators in this market segment.

As hydrogen is a potential energy source for the aircraft configurations under consideration, cryogenic storage could provide synergetic advantages. This could in particular true for power distribution and thermal management. The presentation will highlight the main considerations in this respect and will conclude with an outlook to the FUTPRINT50 Academy, where the engineers of the future are given the opportunity to perform their theses on key topics identified within the project.

Тепловая и электрическая проводимость в металлах, полупроводниках и их контактах

Алифанов О.М., Ненарокомов А.В., Викулов А.Г.
МАИ, г. Москва, Россия

При проектировании сверхпроводниковых систем возникает вопрос о месте и способе их соединения с сетью потребителя, которая в большинстве случаев основана на металлических проводниках, находящихся при нормальных температурах. Ответ на этот вопрос даёт комплексное исследование тепловых и электрических свойств металлов, полупроводников и их соединений при температурах выше температуры перехода полупроводника в сверхпроводящее состояние.

Взаимосвязь электропроводности и электронной теплопроводности выражается законом Видемана-Франца при использовании теоретического значения числа Лоренца или законом Видемана-Франца-Лоренца при использовании числа Лоренца, уточненного для конкретного материала с учётом его температурной зависимости. Замена теплопроводности и электропроводности в законе Видемана-Франца-Лоренца их выражениями через тепловое и электрическое сопротивления позволяет записать уравнение этого закона через электрическое и тепловое сопротивления электронной проводимости.

Потенциальный барьер на границе металла и полупроводника (барьер Шоттки) зависит от типа проводимости полупроводника (р – положительная, n – отрицательная) и соотношения работ выхода металла и полупроводника: если работа выхода полупроводника n-типа меньше работы выхода металла, проводимость интерфейса диодная, если больше – омическая; если работа выхода полупроводника p-типа больше работы выхода металла, проводимость интерфейса диодная, если меньше – омическая. Комбинируя тип проводимости и работу выхода полупроводника, можно получить контакты металл-полупроводник с омической или диодной проводимостью.

Полная теплопроводность металлов близка к электронной, а диодный контакт при обратном смещении блокирует электронную теплопроводность, поэтому на границе металла с полупроводником происходит взаимное преобразование электронного и фононного теплового потока. Фононы отражаются от границы раздела, в результате чего фононный тепловой поток уменьшается. Фононная тепловая проводимость описывается моделями тепловых волн, переносящих тепловую энергию без переноса вещества и позволяющих определить скорость теплопереноса.

Heat and electrical conductance in metals, semiconductors and their contacts

Alifanov O.M., Nenarokomov A.V., Vikulov A.G.
MAI, Moscow, Russia

When designing superconducting systems there is a problem of a place and a way they are connected to a consumer net which at most of cases consists of metal conductors under normal

temperatures. An answer to this question is given by complex investigation of heat and electrical properties of metals, semiconductors and their joints under the temperatures higher than the temperature of semiconductor transition into the superconducting state.

The interconnection of electrical conductivity and electron heat conductivity is expressed by the Wiedemann-Franz law when one uses a theoretical value of the Lorentz number and by the Wiedemann-Franz-Lorentz law when one uses the Lorentz number specified for some material with its temperature dependence. We can get the expressions of the heat conductivity and the electrical one in the terms of the heat and electrical resistances. Having these expressions been substituted into the Wiedemann-Franz-Lorentz law one get the equation of this law in the terms of the electrical resistance and the heat resistance of heat conductance.

Potential barrier at the bound of a metal and a semiconductor depends on the kind of conductance of the semiconductor (p – positive, n – negative) and the quotient of the work functions of the metal and the semiconductor. If the work function of the n-kind semiconductor is less than the one of the metal then the interface has diode conductance; if it is more than the metal work function then the interface has ohm conductance. If the work function of the p-kind semiconductor is more than the one of the metal then the interface has diode conductance; if it is less than the metal work function then the interface has ohm conductance. Arranging the kind of conductance and the work function of the semiconductor one get metal-semiconductor contacts with ohm or diode conductance.

The total heat conductivity of metals is near to the electron one, while a diode contact blocks the electron heat conductivity. Therefore there is mutual transformation of the electron conductivity and phonon one at the bound of a metal and a semiconductor. Phonons reflect from the bound, the phonon heat flow decreasing. The phonon heat conductance is described by models of heat waves transferring the heat power without transfer of a substance. They allow us to determine the speed of heat transfer.

**Разработка глобальных моделей для детального комплексного анализа
термогидравлических процессов в крупных сверхпроводниковых установках
совместно с системами криогенного обеспечения**

Арсланова Д.Н., Васильев В.Н., Родин И.Ю., Шатиль Н.А.
АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург, Россия

Работы в АО «НИИЭФА» над проектированием сверхпроводниковых магнитных систем (СПМС) Ускорительно-накопительного комплекса (УНК, 70-90 г.г.), а затем над СПМС установок Т-15 и ИТЕР (с начала 90-х по н.в.) выявили отсутствие методик и вычислительного инструментария для глобального анализа термогидравлических процессов в системах подобного типа, рассматриваемых совместно с криогенной системой. В начале 90-х годов прошлого века была сформулирована задача разработки численных методик и алгоритмов для эффективного моделирования (анализа, оптимизации и синтеза) крупных СПМС совместно с их криогенной установкой с учетом всех актуальных для их работы параметров и условий. АО «НИИЭФА» одним из первых успешно справилось с решением проблемы. Созданные вычислительные методики были реализованы в виде программных комплексов VINCENTA/VENECIA, которые в качестве одного из основных инструментов используются специалистами ИТЕР для термогидравлического анализа её СПМС совместно с системой криогенного обеспечения и оптимизации режимов работы и параметров установки. В рамках специально организованных сравнительных испытаний соответствующих программ в ИТЭР, комплексы VINCENTA/VENECIA единственные в России прошли верификацию и рекомендованы к применению в Международной организации ИТЭР. Результаты моделирования с использованием моделей установки включены в материалы документации по проекту ИТЭР.

**Modelling thermal-hydraulic behavior of large superconducting magnets and their
cryogenic systems**

Arslanova D.N., Vasiliev V.N., Rodin I.Yu., Shatil N.A.
JSC “NIEFA”, Saint-Petersburg, Russia

Construction of the UNK proton accelerator, T-15, ITER, and other projects, where the JSC NIIIEFA scientists were engaged, have demanded development of methodology and computational tools for an integrated analysis of a superconducting magnet system. In 1990s efficient and reliable software tools were recognized mandatory for the design and analysis of large-scale superconducting magnet systems to predict their thermal, hydraulic, and electromagnetic response at a wide spectrum of operational conditions. JSC NIIIEFA advancement in complex numerical investigation for design and operation of such systems has been implemented in a range of modelling techniques and tailored computational tools. The codes VINCENTA/VENECIA were officially verified and adopted by the IO ITER as one of the basic numerical tools for thermal hydraulic analysis. The codes and dedicated set of models provide consistent prediction and optimization for performance of the superconducting magnets together with the cryogenic systems over a wide range of scenarios. The models created for main components of the tokamak magnets and simulated results were included in the ITER project database and relevant documentation.

Триаксиальный кабель на основе высокотемпературных сверхпроводников с двумя повивами на фазу

Высоцкий В.С., Занегин С.Ю., Зубко В.В., Фетисов С.С., Носов А.А.

ОАО «ВНИИКТБ», г. Москва, Россия

Трехфазные триаксиальные высокотемпературные сверхпроводящие силовые кабели обладают такими преимуществами, как компактность, высокая общая плотность тока и уменьшенное количество сверхпроводящих лент по сравнению с обычными сверхпроводящими кабелями, каждая фаза которых состоит из отдельного коаксиального кабеля.

Ранее во ВНИИКТБ были разработаны и испытаны прототипы сверхпроводящих триаксиальных кабелей с одним повивом на фазу из высокотемпературных сверхпроводящих лент как первого, так и второго поколения.

Для увеличения мощности триаксиального высокотемпературного сверхпроводящего кабеля, необходима многоповивная конструкция каждой фазы.

Мы разработали и испытали прототип триаксиального кабеля с двумя повивами высокотемпературных сверхпроводящих лент второго поколения в каждой фазе. Оптимальные параметры кабеля были определены с помощью численного моделирования. Проведены испытания кабеля на постоянном токе и переменном токе при частотах от ~ 50 до ~ 400 Гц. В настоящем докладе представлены параметры кабеля и результаты его первых испытаний.

HTS triaxial cable with 2 superconducting layers per phase

Visotsky V.S., Zanegin S.Yu., Zubko V.V., Fetisov S.S., Nosov A.A.

VNIIEFA, Moscow, Russia

Three-phase triaxial high-temperature superconducting power cables have the advantages of compactness, high overall current density and reduced number of superconducting tapes, compared to conventional superconducting cables, where each phase consists of a separate coaxial cable.

Earlier, the prototypes of superconducting triaxial cables were developed and tested at VNIIEFA, with one layer of high-temperature superconducting tapes of either the first or the second generation in each phase.

To increase the power of a triaxial high-temperature superconducting cable, a multi-layer design of each phase is proposed.

We developed and tested the prototype triaxial cable with two layers of second-generation high-temperature superconducting tapes in each phase. Optimized cable parameters were determined using numerical simulation. Cable tests at alternating current were carried out at frequencies from ~ 50 to ~ 400 Hz. The paper presents the parameters of the cable and the results of its first tests.

Исследование режимов теплообмена в криогенных вращающихся системах применительно к обеспечению стабилизации ВТСИ устройств

Жуков В.Е.

Для поддержания обмотки криогенератора в сверхпроводящем состоянии необходимо обеспечить контакт сверхпроводника с криогенной жидкостью. Условия теплообмена на любом участке сверхпроводниковой обмотки должны гарантировать стабилизацию температуры элемента обмотки в пределах ниже температуры перехода сверхпроводника в нормальное состояние. Вращение ротора генератора с высокой частотой создает ряд специфических условий, влияющих на эффективность теплообмена теплоотдающей поверхности элемента обмотки с криогенной жидкостью. Выявление комплексного влияния факторов на условия температурной стабилизации сверхпроводника возможно только в условиях экспериментального исследования.

Эксперименты проводились на стенде «Высокоскоростной вращающийся криостат». Конструктивно криостат выполнен по схеме одноопорной подвесной центрифуги с длинным вакуумно-изолированным валом из стали 12X18H10T. Внутренний диаметр экспериментального объема 200 мм. Центробежные ускорения на теплоотдающей поверхности варьировались в диапазоне значений (20 – 5500)g, плотность теплового потока в диапазоне (500 – $1 \cdot 10^6$) Вт/м². Медная теплоотдающая поверхность (далее ТП) прямоугольной формы размером 8×24 мм нормально ориентирована по отношению к вектору центростремительного ускорения и обращена в сторону оси вращения. Относительно вектора ускорения Кориолиса ТП ориентировалась в ряде экспериментов длинной стороной (24 мм) в направлении вектора ускорения, а в ряде экспериментов – короткой стороной (8 мм). Эксперименты проводились в условиях теплообмена в большом объеме при твердотельном вращении жидкости (жидкого азота). Давление на оси вращения 0.1 МПа, толщина слоя жидкости над ТП поддерживалась на постоянном уровне с точностью ± 2 мм. Значения толщины слоя жидкости в различных экспериментах составляли 10, 20 и 38 мм. Температура ТП определялась установленными на расстоянии 1 мм под поверхностью полупроводниковыми термометрами. Распределение температуры жидкости вблизи ТП измерялось на расстоянии 1 мм над поверхностью.

Проведенные эксперименты показали, что с увеличением частоты вращения ротора криостата наблюдается интенсификация конвективного движения жидкости, вызванного силами Кориолиса. В результате передняя по вращению часть ТП контактирует с более прогретой жидкостью, чем кормовая часть, что приводит к различным условиям для смены режимов теплообмена в различных частях ТП.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2020-770).

The study of heat transfer regimes in cryogenic rotating systems as applied to ensuring stabilization of HTS devices

Zhukov V.E.

IT SB RAS, Novosibirsk, Russia

To maintain the winding of the cryogenerator in the superconducting state, it is necessary to ensure the contact of the superconductor with the cryogenic liquid. The conditions for heat transfer in any section of the superconducting winding must ensure that the temperature of the winding element is stabilized within the limits below the temperature of the transition of the superconductor to the normal state. The rotation of the generator rotor at a high frequency creates a number of specific conditions that affect the efficiency of heat exchange between the heat transfer surface of the winding element with a cryogenic liquid. Revealing the complex influence of factors on the conditions of temperature stabilization of a superconductor is possible only under the conditions of an experimental study.

The experiments were carried out at the "High-speed rotating cryostat" stand. Structurally, the cryostat is made according to the scheme of a single-support suspended centrifuge with a long vacuum-insulated shaft made of steel 12X18H10T. The inner diameter of the experimental volume is 200 mm. Centrifugal accelerations on the heat-transfer surface varied in the range of values (20 – 5500) g, the heat flux density in the range (500 – $1 \cdot 10^6$) W/m². A copper heat-transfer surface

(hereinafter H-TS) of rectangular shape with a size of 8×24 mm is normally oriented with respect to the centripetal acceleration vector and is turned towards the axis of rotation. With respect to the Coriolis acceleration vector, the TP was oriented in a number of experiments with its long side (24 mm) in the direction of the acceleration vector, and in a number of experiments - with its short side (8 mm). The experiments were carried out under conditions of heat transfer in a large volume with solid-state rotation of a liquid (liquid nitrogen). The pressure on the axis of rotation is 0.1 MPa, the thickness of the liquid layer above the H-TS was maintained at a constant level with an accuracy of \square 2 mm. The values of the thickness of the liquid layer in various experiments were 10, 20 and 38 mm. The temperature of the H-TS was determined by semiconductor thermometers installed at a distance of 1 mm under the surface. The temperature distribution of the liquid near the H-TS was measured at a distance of 1 mm above the surface.

The experiments have shown that with an increase in the rotational speed of the cryostat rotor, an intensification of the convective motion of the liquid caused by the Coriolis forces is observed. As a result, the front rotational part of the TP is in contact with a more heated liquid than the aft part, which leads to different conditions for changing the heat exchange modes in different parts of the TP.

This work was supported by the Russian Ministry of education and science (agreement № 075-15-2020-770).

Перспективы внедрения ВТСП и криогенных технологий для систем электродвижения в авиации

Калитка В.С., Воронов А.С., Самойленков С.В.
ЗАО «СуперОкс», г. Москва, Россия

Глобальная конкуренция в транспортной отрасли, необходимость соответствия постоянно повышающимся требованиям по топливной эффективности, экологичности и малозумности двигательных систем, ведет к необходимости постоянного совершенствования силовых установок. Использование гибридных и электрических технологий является одним из стратегических приоритетов мировых авиастроительных компаний, их стратегические планы в части инновационной деятельности в значительной степени связаны с проектами по созданию «более электрических» и «полностью электрических» ЛА разных типов и классов.

В региональной авиации наиболее востребованы универсальные самолеты для унификации флота – с дальностью до 2000-3000 морских миль. В то же время значительная часть пассажирский перелетов совершается на расстояния до 1000 миль, где режимы взлета, набора высоты и наземные перемещения составляют значительный вклад в общее потребление топлива. В таких режимах гибридная силовая установка дает максимальный эффект по снижению расхода топлива и снижению эксплуатационных расходов воздушного судна.

В ЗАО «СуперОкс» активно ведется разработка ВТСП и криогенных технологий для систем электродвижения. В рамках работ собран и проходит испытания интегрированный демонстратор электрического тракта силовой установки, включающий ВТСП-генератор, ВТСП-кабель, криогенное распределительное устройство, ВТСП-электродвигатель, силовую электронику и батарейный блок. Полученные результаты позволяют говорить о достижении достаточного уровня готовности технологий для проектировки силовой установки перспективного летательного аппарата. Произведены предварительные расчеты основных параметров предлагаемой силовой установки и оценен эффект на эксплуатационные характеристики воздушного судна.

Superconducting and cryogen technologies for aviation electric propulsion systems

Kalitka V.S., Voronov A.S., Samoilenkov S.V.
SuperOx CJSC, Moscow, Russia

Standards for ecology, noise and efficiency in transportation industry are being constantly get stringent. Competitive landscape make permanent process of propulsion system refinement mandatory to keep leading positions. World leaders in aviation industry have strategy plans for transition to hybrid and full electric propulsion system to meet future industry requirements. A huge

part of innovation activity related with making of more and full electric demonstrator aircrafts of different classes.

Regional aviation companies usually have fleet of single aircraft model to optimize maintenance expenses – it is middle aircraft with range of 2000-3000 nm. However, majority of regional flights are on routes less than 1000nm, where takeoff, climb and taxiing fuel consumption is a greater part of total fuel required for flight. Hybrid electric propulsion system could drastically decrease fuel consumption at these operation modes and thus decrease overall operational expenses of aircraft.

SuperOX CJSC develop superconducting and cryogenic technologies for electric propulsion system. Integrated demonstrator of propulsion system electrical drivetrain, including HTS motor, generator and cable, cryogenic distribution module, cryogenic system, power converters and battery is assembled and being tested now. According to results, we can claim reaching of technology readiness level sufficient to start projecting new perspective aircraft. Preliminary calculations of propulsion system parameters are made and effect for operational characteristics of aircraft is estimated.

ВТСП электрические машины и устройства для гибридных силовых установок

Ковалев К.Л., Иванов Н.С., Журавлев С.В., Подгузов В.А., Здорова М.В.,

Кадеров В.А., Широков А.А.

МАИ, Москва, Россия

Сверхпроводниковые электрические машины, по сравнению с машинами традиционного исполнения, обладают существенными достоинствами, к которым относятся: улучшенные массогабаритные показатели, более высокий КПД, меньшие значения индуктивных параметров, сниженный уровень шума, большая стабильность при работе в электросетях. Создание таких машин требует решения целого ряда научных и инженерных задач, относящихся ко многим областям науки и техники. Однако, их применение может стать ключевым аспектом создания подвижных объектов с гибридной силовой установкой.

Очевидно, что в состав силовых и энергетических систем помимо сверхпроводниковых устройств должны также входить первичные источники энергии, накопители энергии, система криогенного охлаждения и преобразовательная техника. В зависимости от объекта применения и суммарной мощности системы будет меняться ее структура и параметры отдельных устройств и компонентов. Кроме того, учитывая большое разнообразие устройств, которые могут входить в систему, необходимо проведение фундаментальных исследований, которые позволят выявить основные законы их взаимодействия. Помимо этого, высокие требования по удельной (кВт/кг) и объемной (кВт/м³) мощности, эффективности делает необходимым при создании таких систем применение методов оптимизационного проектирования, адаптированных под конкретные области применения.

В настоящее время известны и хорошо проработаны методики расчета параметров ВТСП электрических машин с обмотками на роторе и статоре. Однако, экспериментальных исследований подобных устройств в мире проведено немного. В частности, в МАИ проведены испытания первой в России подобной машины. В результате продемонстрирована верность теоретических подходов и технологических методов изготовления. Однако, данный макет имеет малую мощность. Для создания высокоэффективных устройств на основе ВТСП лент второго поколения необходимо знать, какой транспортный ток смогут обеспечить катушки из ВТСП. Объем существующих на сегодня теоретических и экспериментальных данных все еще не позволяет делать точные прогнозы об уровне транспортного тока ВТСП катушек. Это связано с тем, что свойства лент меняются в зависимости от производителя, температуры, внешнего магнитного поля, механического состояния ленты и т.д. Таким образом, наиболее точно можно спрогнозировать параметры, которые будет иметь та, или иная ВТСП лента в составе изделия, возможно если предварительно провести экспериментальные исследования данной ленты.

В данной работе приведены результаты разработки ВТСП электрических машин, а также теоретические и экспериментальные исследования ВТСП катушек, работающих как в присутствии внешнего магнитного поля, так и без.

Electrical machine and devices based on high temperature superconductors for hybrid propulsion systems

Kovalev K.L., Ivanov N.S., Zhuravlev S.V., Podguzov V.A., Zdorova, M.V., Kaderov V.A., Shirokov A.A.

MAI, Moscow, Russia

Superconducting electric machines, in comparison with traditional one, have significant advantages, which include: improved weight and size indicators, higher efficiency, lower values of inductive parameters, reduced noise level, greater stability when working in power grids. Creating such machines requires solving a number of scientific and engineering problems related to many areas of science and technology. However, their application can be a key aspect of creating mobile objects with a hybrid propulsion system.

It is obvious that the structure of the power and energy systems in addition to superconducting devices should also include primary energy sources, energy storage devices, cryogenic cooling system and power electronics. Depending on the object of application and the total capacity of the system, its structure and parameters of individual devices and components will change. In addition, given the wide variety of devices that can be included in the system, it is necessary to conduct fundamental research that will reveal the basic laws of their interaction. In addition, the high requirements for specific (kW/kg) and volumetric (kW/m³) power and efficiency make it necessary to use optimization design methods adapted to specific applications when creating such systems.

Currently, well-known and well-developed methods for calculating the parameters of HTS electric machines with windings on the rotor and stator. However, there are few experimental studies of such devices in the world. In particular, the MAI conducted tests of the first such machine in Russia. As a result, the correctness of theoretical approaches and technological methods of manufacturing is demonstrated. However, this experimental prototype has low power. To create high-performance devices based on second-generation HTS tapes, you need to know what transport current can be provided by HTS coils. The amount of theoretical and experimental data available today still does not allow us to make accurate predictions about the level of the transport current of HTS coils. This is due to the fact that the properties of the tapes change depending on the manufacturer, temperature, external magnetic field, mechanical state of the tape, etc. Thus, the most accurate way to predict the parameters that will have one or another HTS tape in the product, perhaps if you pre-conduct experimental studies of this tape.

This paper presents the results of the development of HTS electric machines, as well as theoretical and experimental studies of HTS coils operating both in the presence of an external magnetic field and without.

Проектирование сверхпроводниковых электрических машин при помощи междисциплинарного подхода

Ковалев К.Л.¹, Пенкин В.Т.¹, Иванов Н.С.¹, Кошелева Н.², Сероваев Г.²

¹МАИ, Москва, Россия

²ИМСС УрО РАН, Пермь, Россия

Сверхпроводниковые электрические машины – это сложные технические устройства. Создание таких машин требует решения целого ряда научных и инженерных задач, относящихся к различным областям науки и техники. Кроме поиска решений традиционных задач обычного "теплого" электромашиностроения необходимо исследовать проблемы, связанные с криостатированием сверхпроводящих обмоток и стабильностью их сверхпроводящего состояния под действием внешних теплопритоков, центробежных и пондеромоторных сил, а также вибраций. Конструкция криогенных машин должна предусматривать компенсацию термического сжатия конструктивных элементов и обмоток при захлаживании.

В данной работе приведена одна из междисциплинарных задач, исследование которой позволит найти интересные решения в области сверхпроводниковых электрических машин, а так же создать образцы электродвигателей и генераторов, превосходящие по удельным показателям все существующие сегодня аналоги. Данная задача связана с разработкой новых конструктивных решений на основе композитных материалов и аддитивных технологий.

Так как при проектировании ВТСП электрических машин тепловой расчет имеет большое значение, то целью исследования является определение состояния ВТСП катушек. Известно, что определение температуры ВТСП обмоток может быть осуществлено несколькими способами. В данном исследовании предлагается использовать волоконно-оптические датчики в качестве потенциальных температурных датчиков, так как данные датчики обладают рядом преимуществ перед традиционными температурными датчиками. Волоконно-оптические датчики могут измерять различные физические и механические величины, обладают малыми размерами и могут быть встроены практически в любую деталь/конструкцию без особых последствий или наклеены на поверхность детали. Кроме того волоконно-оптические датчики в жестких условиях имеют преимущества по чувствительности по сравнению с другими датчиками, и не подвержены влиянию электромагнитного шума, при этом они являются безопасными при использовании горячих жидкостей и большого давления. С их помощью можно осуществлять мониторинг в режиме реального времени, в том числе при операционных нагрузках детали. Волоконно-оптические датчики обладают большим диапазоном рабочих температур в зависимости от внешней оболочки.

Development of superconducting electrical machines using multidisciplinary approach

Kovalev K.L.¹, V. Penkin V.T.¹, N. Ivanov N.S.¹, Kosheleva N.², Serovaev G.²

¹MAI, Moscow;

²ICMM UB RAS, Perm, Russia

Superconducting electrical machines are complex technical devices. Creating such machines requires solving a number of scientific and engineering problems related to various fields of science and technology. In addition to finding solutions to problems of traditional "warm" electrical engineering, it is necessary to study the problems associated with cooling of superconducting windings and the stability of their superconducting state under the action of external heat flows, centrifugal and ponderomotor forces, as well as vibrations. The design of cryogenic machines must compensate for the thermal compression of structural elements and windings during cooling.

This paper presents one of the interdisciplinary problems, the study of which will allow us to find interesting solutions in the field of superconducting electric machines, as well as to create samples of electric motors and generators that exceed all existing analogues in terms of specific indicators. This task is related to the development of new design solutions based on composite materials and additive technologies.

The purpose of the study is to determine the state of HTS coils. It is known that the HTS windings temperature can be determined in several ways. This study suggests using fiber-optic sensors as potential temperature sensors, as these sensors have a number of advantages over traditional temperature sensors. Fiber-optic sensors can measure various physical and mechanical quantities, have small size, and can be embedded in almost any part/structure without special consequences, or glued to the surface of the part. In addition, fiber-optic sensors in harsh environments have sensitivity advantages over other sensors and are not affected by electromagnetic interference, while they are safe when using flammable liquids and high pressure. They can be used for real-time monitoring, including under load operation. Fiber-optic sensors have a wide range of operating temperatures depending on the outer shell.

Создание устройств на основе высокотемпературных сверхпроводников

Козуб С.С., Богданов И.В., Ткаченко Л.М., Шувалов В.И.

НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, г. Протвино, Россия

В настоящее время в России ведутся разработки нового и перспективного направления в сверхпроводимости – использование высокотемпературных сверхпроводников второго

поколения для электромеханических преобразователей энергии. Электрические машины с ВТСП-2 обмотками по сравнению с машинами, имеющими обмотки из традиционных проводников, позволяют существенно уменьшить габариты и вес электрических машин. Рейстрекковые обмотки из ВТСП лент второго поколения представляют большой интерес не только для электрических машин, но и создания ВТСП магнитов для ускорителей элементарных частиц. Такие магниты позволят значительно повысить экономичность и эффективность работы такой высокоэнергоемкой системы, как ускоритель.

В статье представлены конструкция и результаты испытания полномасштабных рейстрекковых обмоток возбуждения ротора опытного образца сверхпроводникового синхронного электродвигателя мощностью 200 кВт и полномасштабных рейстрекковых обмоток возбуждения ротора опытного образца сверхпроводникового синхронного генератора мощностью 1 МВА, первого в России дипольного магнита, изготовленных из ВТСП ленты второго поколения.

Проведенные работы по созданию обмоток из ВТСП-2 ленты позволили успешно изготовить и испытать полномасштабные рейстрекковые обмотки возбуждения, в том числе, выполнить исследование процесса перехода их в нормальное состояние и сформулировать рекомендации по защите этих обмоток при переходе в нормальное состояние для сверхпроводникового синхронного двигателя и сверхпроводникового синхронного генератора, изготавливаемых в рамках программы по созданию в России электромеханических преобразователей энергии на основе ВТСП лент второго поколения.

Creation of HTS devices

Kozub S.S., Bogdanov I.V., Tkachenko L.M., Shuvalov V.I.
NRC "Kurchatov institute" – IHEP, Protvino, Russia

Currently, Russia is developing a new and promising direction in superconductivity – the use of high-temperature superconductors of the second generation for electromechanical energy converters. Electric machines with HTS-2 windings, in comparison with machines with windings from traditional conductors, can significantly reduce the dimensions and weight of electrical machines. Racetrack windings made of second-generation HTS tapes are of great interest not only for electrical machines, but also for the creation of HTS magnets for particle accelerators. Such magnets will significantly increase the efficiency and effectiveness of a highly energy-intensive system such as an accelerator.

The article presents the design and test results of full-scale racetrack excitation windings of the rotor of a prototype 200 kW superconducting synchronous electric motor and full-scale racetrack excitation windings of the rotor of a prototype 1 MVA superconducting synchronous generator, the first Russian dipole magnet made of HTS tape of the second generation.

The work carried out on the creation of windings from HTS-2 tape made it possible to successfully manufacture and test full-scale racetrack excitation windings, including the study of the process of their transition to a normal state and formulate recommendations for protecting these windings during the transition to the normal state for a superconducting synchronous motor and superconducting synchronous generator manufactured as part of the program for the creation in Russia of electromechanical energy converters based on second generation HTS tapes.

Потери в электрических сетях, использующих ВТСП кабели

Копылов С.И., Липа Д.А.
ОИВТ РАН, г. Москва, Россия

Исследуются ВТСП кабели, созданные на базе ВТСП лент второго поколения. Проведена оценка тепловых потерь в ВТСП кабельных линиях, проанализировано влияние тоководов и других элементов конструкций ВТСП линий, показано что электромагнитные потери (гистерезисные и потери на вихревые токи) могут вносить основной вклад. Рассматриваются потери, как в ВТСП кабелях постоянного тока, так и в трёхфазных ВТСП кабелях переменного тока.

Целью проведённого исследования является учёт и снижение потерь в электрических сетях, что позволит сократить число трансформаторных подстанций и уменьшить стоимость

электротехнического оборудования. При этом использование ВТСП линий выглядит весьма привлекательным, так как потери в ВТСП кабелях минимальны.

Разработанные методики расчётов для ВТСП-кабелей постоянного и переменного тока, изготовленных из ВТСП лент второго поколения. Методики расчётов потерь учитывают влияние всех основных факторов, включая геометрию кабеля, критические параметры ВТСП лент второго поколения и другие. На основе проведённых исследований могут быть предложены новые перспективные конструкции ВТСП кабелей.

Практическая значимость проведённого исследования состоит в том, что результаты получены поддержке Минобрнауки (075-15-2020-770) и при выполнении НИР по гранту РФФИ 16-08-00304.а.

Analysis of losses in power transmission lines with HTS cables

Kopylov S.I., Lipa D.A.

JIHT RAS, Moscow, Russia

Superconducting cables based upon 2G HTS tapes have been investigated with the estimation of the total power losses in them. Taking into account the losses in current leads it has been shown that the major contribution in the total losses is made by hysteresis losses in HTS material and eddy current losses in normal metal elements of a HTS cable itself and surrounding devices. There have been considered both DC and three-phase AC cables.

The investigation performed is aimed to estimate a diminish the total losses in electric power networks what allows the reduction of transformer substations with the subsequent decreasing of costs. Using of HTS transmission lines to this end is very promising since the total losses in HTS are sufficiently low and, moreover, can be furtherly minimized by the variation of the cable design.

There had been developed AC losses calculation technique both for DC and AC HTS cables accounting the influence of all the basic factors – cable geometry, mutual positions of HTS current-carrying elements, critical parameters of 2G HTS tapes, etc. The results obtained allow the proposal of new cable designs with the minimized level of AC losses.

The work was supported by the Ministry of Science and Education of the Russian Federation (Pr. No 075-15-2020-770) and RFBR Pr. No 16-08-00304.а.

Разработка методов интенсификации теплообмена при кипении азота для обеспечения стабилизации ВТСП устройств

Павленко А.Н., Кузнецов Д.В.

ИТ СО РАН, г. Новосибирск, Россия

В докладе представлен краткий анализ современных достижений и ключевых вопросов в области интенсификации теплообмена и повышения критического теплового потока при кипении криогенных жидкостей в условиях различных законов тепловыделения с использованием микро-наноструктурирования теплоотдающей поверхности.

Приведен обзор новых экспериментальных данных по эффективности теплообмена и критическому тепловому потоку при кипении в условиях свободной конвекции при использовании новых структурированных капиллярно-пористых покрытий, создаваемых методами плазменного напыления и SLM/SLS (3-D печать). Важнейшим результатом обсуждаемых исследований является экспериментальное выявление того, что на нагревателях со структурированными капиллярно-пористыми покрытиями происходит вырождение развития кризиса кипения при нестационарном тепловыделении при $q < q_{кр,1}$.

При нестационарном импульсном тепловыделении на нагревателях с такими покрытиями быстрый переход к плёночному режиму кипения, минуя стадию пузырькового кипения, не наблюдается вплоть до тепловых нагрузок, в 2.5-3 раза превышающих критический тепловой поток при стационарном тепловыделении, что увеличивает времена перехода к закритическому теплообмену более чем на порядок.

Представлены результаты сравнительного анализа по эффективности теплообмена и критическому тепловому потоку при кипении на тепловыделяющих поверхностях с микротекстурой разной формы, с микропрофилированием теплоотдающей поверхности с

использованием деформирующего резания (МДР), с сетчатыми покрытиями различных форм и размеров. Проведен анализ новых результатов, полученных при кипении азота в различных гидродинамических условиях, по механизмам резкого увеличения скорости нестационарного охлаждения пластин с новыми структурированными капиллярно-пористыми или низкотеплопроводными покрытиями при исследованных параметрах создаваемых структур. Показано, что значительно более интенсивное охлаждение сильно перегретых пластин с такими покрытиями связано со смачиванием поверхности при существенно более высоких температурах и с соответствующим более ранним возникновением и развитием зон переходного и затем пузырькового кипения на охлаждаемой поверхности.

Представлены результаты анализа по степени интенсификации теплообмена при кипении жидкостей на микроструктурированных поверхностях, создаваемых методом микродугового оксидирования (МДО).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2020-770).

Development of methods for heat transfer enhancement during nitrogen boiling to ensure the stabilization of HTS devices

Pavlenko A.N., Kuznetsov D.V.
IT SB RAS, Novosibirsk, Russia

The report presents a brief analysis of current achievements and key issues in the field of heat transfer intensification and increasing the critical heat flux during the boiling of cryogenic liquids under various heat release laws using micro-nanostructuring of the heat-generating surface.

A review of new experimental data on the efficiency of heat transfer and the critical heat flux enhancement during pool boiling using new microstructured capillary-porous coatings created by plasma sputtering and SLM/SLS (3-D printing) is presented. The most important result of the discussed research is the experimental identification of the fact that the development of a boiling crisis in non-stationary heat release at $q < q_{cr,1}$ degenerates on heaters with microstructured capillary-porous coatings. With non-stationary pulsed heat release on heaters with such coatings, a rapid transition to the film boiling regime, bypassing the bubble boiling stage, is not observed until heat loads are 2.5 - 3 times higher than the corresponding critical heat flux for stationary heat release, which increases the transition times to post-crisis heat transfer by more than an order of magnitude.

The results of a comparative analysis of the efficiency of heat transfer and critical heat flux during boiling on heat-generating surfaces with microtextures of different shapes, with micro-profiling of the heat-releasing surface using micro-deforming cutting (MDC), with mesh coatings of various shapes and sizes are presented. The analysis of new results obtained during nitrogen boiling under various hydrodynamical conditions on the mechanisms of a sharp increase in the rate of non-stationary cooling of plates with new structured capillary-porous or low-heat-conducting coatings under the studied parameters of the created structures is carried out. It is shown that much more intensive and rapid cooling of highly superheated plates with such coatings is associated with wetting the surface at significantly higher temperatures and with the corresponding earlier occurrence and development of transition boiling zone and then bubble boiling zone on the cooled surface.

The results of the analysis of the degree of heat transfer enhancement during the boiling of liquids on microstructured surfaces created by the method of microarc oxidation (MAO) are presented.

The Russian Ministry of Higher Education and Science (agreement № 075-15-2020-770) supported this work.

Магнитные и транспортные характеристики ВТСП лент с искусственными дефектами микронного масштаба

Покровский С.В., Абин Д.А., Савченков Д.В., Руднев И.А.
НИЯУ «МИФИ», г. Москва, Россия

Современные технологии производства проводов и лент на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) позволяют получать высокие магнитные и токонесящие характеристики материалов. При этом, для их использования зачастую требуется не только более высокий критический ток или захваченный поток сверхпроводника, но также и однородность распределения по длине ВТСП ленты. Традиционными способами, например введением нанодобавок, решить такую задачу достаточно сложно, поскольку требуется управляемая локализация искусственных дефектов в материале, а также изменение параметров уже изготовленной промышленной ВТСП ленты.

В настоящей работе мы представляем результаты исследований возможности управления магнитными и токонесящими характеристиками ВТСП лент второго поколения с помощью создания массивов искусственных дефектов микронного диапазона. Для получения дефектов был использован пикосекундный лазер (длина волны 870 нм, длительность — 2 пс) с фокусировкой. Размер полученных дефектов варьировался от 3.5 до 14 мкм в диаметре. Воздействие производилось непосредственно на ВТСП слой ленты. В данной работе исследовались только сквозные отверстия в сверхпроводящем слое. Были исследованы конфигурации в виде треугольного массива, градиентного и конформного распределения дефектов в сверхпроводнике.

На основе данных электронной микроскопии и структурного анализа показано отсутствие деградации сверхпроводящей пленки в прилегающей области искусственного дефекта. Были проведены комплексные магнитные и электрофизические исследования исходных и модифицированных образцов. На основе моделей течения потока и вихревого пути были проведены оценки изменения силы пиннинга в сверхпроводнике. Сделан вывод о коллективном пиннинге вихревой системы при наличии дефектов микронного масштаба. Показано положительное влияние создаваемых дефектов на характеристики ВТСП ленты.

Исследование поддержано РФФИ, номер проекта 20-08-00811.

Magnetic and transport characteristics of HTS tapes with micron-scale artificial defects

Pokrovskii S.V., Abin D.A., Savchenkov D.V., Rudnev I.A.

NRNU “MEPhI” Moscow, Russia

Modern technologies for the wires and tapes production based on high-temperature superconductors (HTS) make it possible to obtain high magnetic and current-carrying characteristics of materials. Moreover, their use often requires not only a higher critical current or trapped magnetic field, but also a uniform distribution along the length of the HTS tape. It is rather difficult to solve such a problem by traditional methods, for example, the introduction of nanoadditives, since a controlled localization of artificial defects in the material is required, as well as a change in the parameters of an already manufactured industrial HTS tapes.

In this report, we present the results of studies the possibility of controlling tune magnetic and current-carrying characteristics of second-generation HTS tapes by creating arrays of artificial defects in the micron range. To obtain defects, a picosecond laser (wavelength 870 nm, duration 2 ps) with focusing was used. The size of the resulting defects varied from 3.5 to 14 μm in diameter. The action was carried out directly on the HTS layer of the tape. In this work, only through holes in the superconducting layer were investigated. Configurations in the form of a triangular array, gradient and conformal distribution of defects in a superconductor were investigated.

Based on the data of electron microscopy and structural analysis, the absence of degradation of the superconducting film in the adjacent area of the artificial defect is shown. Complex magnetic and superphysical studies of the pristine and modified samples were carried out. On the basis of the flow and vortex path models, the changes in the pinning force in the superconductor were estimated. A conclusion is made about the collective pinning behavior of the vortex system in the presence of micron-scale defects. The positive influence of the created defects on the characteristics of the HTSC tape is shown.

The reported study was funded by RFBR, project number 20-08-00811.

Замкнутая система криобеспечения для самолётных ВТСП устройств

Равикович Ю.А., Фирсов В.П., Ковалёв К.Л., Холубцев Д.П., Ермилов Ю.И.

Развитие перспективных гибридных силовых установок с электрическими двигателями и генераторами на основе высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) определяется возможностью создания систем поддержания высокотемпературной сверхпроводимости с холодопроизводительностью от 1 до 3 кВт при температурах 70..75 К.

Используются системы криообеспечения с разомкнутым и замкнутым контуром. При создании систем с небольшой длительностью работы и при существенных ограничениях по массогабаритным параметрам используется разомкнутый контур (расходная система криообеспечения). Примером расходной системы криообеспечения является макет трёхфазного ВТСП трансформатора на жидком азоте с холодопроизводительностью до 3.5 кВт [1].

Параметры замкнутого контура криостатирования бортовых ВТСП устройств (безрасходная система криообеспечения) определяются располагаемой на борту ЛА электрической мощностью и возможностью сброса тепла с поверхностей теплообменников.

В последнее время создаются замкнутые системы криообеспечения [2,3]. В МАИ в 2009...2012 годах были созданы 2 макета замкнутых систем криообеспечения с холодопроизводительностью 1.5...2.5 кВт и до 8 кВт. В этих системах используется неоновый газовый детандерный холодильный обратный цикл Брайтона с использованием радиальных турбомашин и газодинамических подшипников, а в ВТСП трактах объектов криостатирования циркулирует жидкий азот с входной температурой 67..70 К.

Применение неона в газовом контуре криорефрижератора уменьшило количество ступеней сжатия в компрессоре и снизило стоимость компрессоров и потери рабочего тела вследствие негерметичности. Использование турбомашин с газодинамическими подшипниками позволило существенно увеличить ресурс работы криорефрижератора (более 30 000 часов).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение №13.1902.21.0029).

Литература:

1. Антохов И.В., Волков Э.П. и др. Система криообеспечения силового ВТСП трансформатора. Инновационные технологии в энергетике. Кн.3 Прикладная высокотемпературная сверхпроводимость, М., Наука, 2016, с. 115-127
2. Breedlove, J.J., et al., Cryocooler for Air Liquefaction Onboard Large Aircraft, in *Advances in Cryogenic Engineering* 53, edited by J.G. Weisend II, et al., AIP Press, Melville, New York, 2008, pp. 838-845.
3. Yoshida S. and all New design of neon refrigerator for HTS power machines, *Advances in Cryogenic Engineering Transactions of the Cryogenic Engineering Conference CEC*, Vol.55, 2010, pp 1131...1138
4. Костюк В.В., Каторгин Б.И. и др. Система криообеспечения высокотемпературной сверхпроводимости устройств (СКР 001). Инженерный журнал: наука и инновации. 2017, №8(68) с. 12

Closed-loop cryo-supply system for aircraft HTSC devices

Ravikovich Yu.A., Firsov V.P., Kovalev K.L., Holobtsev D.P., Ermilov Yu.I.

MAI, Moscow, Russia

The development of promising hybrid power plants with electric motors and generators based on high-temperature superconductivity (HTSC) is determined by the possibility of creating systems for maintaining high-temperature superconductivity with a cooling capacity of 1 to 3 kW at temperatures of 70..75 К.

Cryopreservation systems with open and closed circuits are used. When creating systems with a short duration of operation and with significant restrictions on weight and size parameters, an open loop (consumable cryo-supply system) is used. An example of a consumable cryo-supply system is a model of a cryo-supply system for a three-phase HTSC transformer running on liquid nitrogen with a cooling capacity of up to 3.5 kW [1].

The parameters of the closed loop cryostatting of the onboard HTSC devices (non-consumable cryo-supply system) are determined by the available onboard electrical power and the ability to discharge heat from the surfaces of heat exchangers.

Recently, closed cryopreservation systems have been created [2,3]. In the MAI in 2009 ... 2012, 2 models of closed cryogenic supply systems with a cooling capacity of 1.5 ... 2.5 kW and up to 8 kW were created. These systems use a neon gas expander refrigeration reverse cycle of Brighton with the use of radial turbomachines and gas-dynamic bearings, and liquid nitrogen circulates in the HTSC paths of cryostatting objects with an inlet temperature of 67..70 K.

The use of neon in the gas circuit of the cryorefrigerator reduced the number of compression stages in the compressor and reduced the cost of the compressors and the loss of working fluid due to leaks. The use of turbomachines with gas-dynamic bearings made it possible to significantly increase the service life of the cryorefrigerator (more than 30,000 hours).

This work was carried out with financial support from the Ministry of Education and Science of Russia (agreement No. 13.1902.21.0029).

References:

1. Antyukhov I.V., Volkov E.P. and other system of cryo-supply of power HTSC transformer. Innovative technologies in the energy sector. Book 3 Applied high-temperature superconductivity, M., Nauka, 2016, p. 115-127

2. Breedlove, J.J., et al., Cryocooler for Air Liquefaction Onboard Large Aircraft, in Advances in Cryogenic Engineering 53, edited by J.G. Weisend II, et al., AIP Press, Melville, New York, 2008, pp. 838-845.

3. Yoshida S. and all New design of neon refrigerator for HTS power machines, Advances in Cryogenic Engineering Transactions of the Cryogenic Engineering Conference CEC, Vol.55, 2010, pp 1131 ... 1138

4. Kostyuk V.V., Katorgin B.I. and others. System of cryo-supply of high-temperature superconductivity devices (SKR 001). Engineering Journal: Science and Innovation. 2017, No. 8 (68) p. 12

Математическое моделирование модульных безрасходных систем криобеспечения для ВТСП устройств

Равикович Ю.А., Холобцев Д.П., Фирсов В.П., Ермилов Ю.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Безрасходная система криобеспечения (СКО) используется при создании высокоресурсных систем криостатирования, позволяющих компенсировать теплопритоки к силовым устройствам, таким, как силовые кабели, электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.п., работающим в условиях высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) в диапазоне температур 65...75 К.

Криорефрижератор является ключевым элементом системы криобеспечения. Наиболее перспективными являются криорефрижераторы работающие по циклу Брайтона, с использованием турбокомпрессоров и турбодетандеров. Теплообменник нагрузки газового контура охлаждает жидкий азот до температуры 67..70 К, который циркулирует во внешнем азотном контуре по каналам охлаждения силовых ВТСП устройств.

Типовые элементы пневмогидросхемы [1], используемые в математической модели СКО: криорефрижератор; блок управления криорефрижератором; криостат; циркуляционный насос; ВТСП объект криостатирования; магистраль подачи жидкости в зону криостатирования объекта; теплообменник нагрузки криорефрижератора; вакуумный насос; магистраль заправки.

Подбор и согласование модулей (элементов) СКО при матмоделировании выполнялся исходя из того, что система должна обеспечить:

- поддержание температуры жидкого азота в диапазоне температур 75 К до 65 К при холодопроизводительности 0,5 – 3.0 кВт;
- минимальные массу и габариты СКО в целом и трубопроводов в частности;

- КПД основного и дожимающего компрессоров не менее 70% при заданной степени повышения давления;
- КПД моделей турбины не менее 70% при заданной степени расширения;
- коэффициент эффективности моделей теплообменных аппаратов не менее 97%.

Модель верифицировалась по результатам стендовых испытаний и пригодна для исследования вариативности исполнения СКО. Так например, применение неона вместо гелия в газовом контуре криорефрижератора позволит сократить количество ступеней сжатия в компрессоре, что значительно уменьшает стоимость компрессорного оборудования и сокращает потери рабочего тела в контуре при негерметичности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 13.1902.21.0029).

Литература:

1. Костюк В.В., Каторгин Б.И., Фирсов В.П., Ковалев К.Л., Равикович Ю.А., Антохов И.В., Тимушев С.Ф., Верещагин М.М., Холобцев Д.П., Ермилов Ю.И., Балабошко Н.Г., Гапеев Ю.А., Лесовников А.С., Сычков А.Е., Модестов К.А. Система криообеспечения высокотемпературной сверхпроводимости устройств (СКР 001). Инженерный журнал: наука и инновации. 2017, №8(68) с. 12.

Mathematical modeling of modular non-consumption cryogenic supply systems for HTS devices

Ravikovich Yu.A., Kholobtsev D.P., Firsov V.P., Ermilov Yu.I.
MAI, Moscow, Russia

The non-consumable cryogenic supply system (CSS) is used to create high-resource cryostatting systems that make it possible to compensate for heat inflows to power devices, such as power cables, electric motors, generators, transformers, etc., operating under high-temperature superconductivity (HTS) conditions in the temperature range 65 ... 75 K.

The cryorefrigerator is a key element of the cryogenic supply system. The most promising are cryorefrigerators operating according to the Brighton cycle, using turbochargers and turboexpanders. The gas circuit is load heat exchanger cools by liquid nitrogen to a temperature of 67..70 K, which circulates in the external nitrogen circuit through the cooling channels of the power HTS devices.

The typical components of the pneumohydraulic circuit [1] was used to the mathematical model of the CSS: cryorefrigerator; control unit of cryorefrigerator; cryostat; circulation pump; HTS object of cryostatting; liquid supply line to the cryostatting zone of the object; heat exchanger for the load of the cryorefrigerator; vacuum pump; filling line.

The selection and coordination of the modules (components) of the CSS during mathematical modeling was carried out on the basis that the system should provide:

- the temperature maintaining of liquid nitrogen in the temperature range of 75 K to 65 K with a cooling capacity of 0.5 – 3.0 kW;
- the minimum weight and dimensions of the CSS in general and pipelines in particular;
- the efficiency level of the main and booster compressors is not less than 70% at a given degree of pressure increase;
- the efficiency level of turbine models is not less than 70% for a given expansion ratio;
- the coefficient of efficiency of models of heat exchangers is not less than 97%.

The mathmodel was verified according to the results of bench tests and suitable for studying the variability of the CSS performance. For example, the use of neon instead of helium in the gas circuit of a cryorefrigerator will reduce the number of compression stages in the compressor, which significantly reduces the cost of compressor equipment and reduces the loss of the working fluid in the circuit in case of leakage.

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, agreement No. 13.1902.21.0029.

References:

1. Kostyuk V.V., Katorgin B.I., Firsov V.P., Kovalev K.L., Ravikovich Yu.A., Antyukhov I.V., Timushev S.F., Vereschagin M.M., Kholobtsev D.P., Ermilov Yu.I.,

Balaboshko N.G., Gapeev Yu.A., Lesovnikov A.S., Sychkov A.E., Modestov K.A. Cryogenic supply system for high-temperature superconductivity devices (SKR 001). Engineering Journal: Science and Innovation. 2017, №8(68) p. 12.

Критические индексы ТКЛР редкоземельных металлов в областях магнитных фазовых превращений

Станкус С.В., Козловский Ю.М.

ИТ СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Дилатометрическим методом подробно исследовано тепловое расширение ряда редкоземельных металлов в области температур 110-500 К. Эксперименты выполнены на горизонтальном дилатометре DIL-402C (NETZSCH, Германия) с держателем образца из плавленного кварца. Удлинение регистрировалось индуктивным датчиком линейного перемещения (LVDT) с разрешением до 0,125 нм. Дилатометр позволяет с высокой точностью измерять небольшие изменения коэффициентов расширения и относительного удлинения материалов. Это дает возможность детально исследовать изменение размеров образцов в областях фазовых превращений 2-го рода. Данные по термическим коэффициентам линейного расширения (ТКЛР) получены для самария, гадолиния, диспрозия и тербия. Для каждого образца было проведено несколько циклов нагрева-охлаждения. Измерения выполнены в режимах изменения температуры с постоянной скоростью 2 К/мин или 0,5 К/мин, что давало возможность регистрировать удлинение образцов каждые 0,06 К или 0,015 К (в области фазового перехода), а также обеспечивало минимальные градиенты температуры.

Апробация установки в низкотемпературной области проведена на образцах высокочистых алюминия и меди. Сравнение наших данных с результатами эталонных показало, что отличие не превышает 2%.

Обработка результатов измерений с помощью скейлинговых зависимостей, позволила определить критические индексы и критические амплитуды ТКЛР исследованных металлов для фазовых переходов парамагнетик-антиферромагнетик, парамагнетик-ферромагнетик и антиферромагнетик-ферромагнетик. Анализ полученных данных, показал, что критические индексы выше и ниже точек Кюри и Нееля заметно отличаются и являются положительными, а их величина существенно превышает абсолютное значение критического индекса теплоемкости $-0,12$.

Сравнение результатов нашего исследования с работами других авторов показало хорошее согласование в однофазных областях, а в окрестностях точек Кюри и Нееля они являются наиболее подробными из представленных в литературе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 075-15 2020-770).

Critical exponents of rare-earth metals in the phase transformation regions

Stankus S.V., Kozlovskii Yu.M.

IT SB RAS, Novosibirsk, Russia

The thermal expansion of a number of rare-earth metals in the temperature range 110-500 K has been studied in detail by the dilatometric method. The experiments were performed on DIL-402C horizontal dilatometer (NETZSCH, Germany) with a fused silica sample holder. Elongation was recorded by an inductive displacement transducer (LVDT) with a resolution up to 0.125 nm. The dilatometer allows to accurately measure small changes of the expansion coefficients and the relative elongation of materials. This makes it possible to study in detail the change in the size of the samples in the regions of phase transformations of the second order. The data on the linear thermal expansion coefficients (LTEC) were obtained for samarium, gadolinium, dysprosium, and terbium. For each sample, several heating-cooling cycles were performed. The measurements were carried out in the modes of temperature change with a constant rate of 2 K/min or 0.5 K/min. This makes it possible to record the elongation of the samples every 0.06 K or 0.015 K (in the phase transition region), and also provides minimal temperature gradients.

The dilatometer was tested in the low-temperature region on samples of high-purity aluminum and copper. Comparison of our data with the reference results showed that the difference doesn't exceed 2%.

The processing of measurement results using scaling dependences made it possible to determine the critical exponents and critical amplitudes of studied metals LTEC for paramagnet-antiferromagnetic, paramagnet-ferromagnetic and antiferromagnetic-ferromagnetic phase transitions. An analysis of the obtained data showed that the critical exponents above and below the Curie and Néel points are positive and differ markedly, and their value significantly exceeds the absolute value of the critical heat capacity exponents -0.12 .

Comparison of our study results with the works of other authors showed good agreement in single-phase regions, and in the vicinity of the Curie and Néel points they are the most detailed of those presented in the literature.

This work was financially supported by the Ministry of Education and Science of Russia. (agreement No 075-15-2020-770).

Методика построения цифрового двойника поверхности для контактных тепловых и прочностных задач

Быков Л.В., Голиков Н.С., Ежов А.Д., Сладков И.С., Талалаева П.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Одним из важнейших шагов в современной модернизации процессов проектирования узлов и агрегатов объектов разрабатываемой техники является частичная замена трудоёмких процессов испытаний, на более экономичные и быстрые процессы численного моделирования. Разработка современных высокотехнологичных конструкций нередко включает в себя обязательный тепловой анализ на параметры изменения прочностных характеристик, способность конструкции к поддержанию заданного теплового баланса, а так же влияние проектируемого элемента на соседние элементы, находящиеся с ним в контакте.

Влияние узлов сборочной конструкции друг на друга является достаточно важным параметром в теплонагруженных аппаратах. Для стабильного функционирования изделия необходимо учесть возможные механические деформации в местах контакта и возникающий в нем тепловой режим, поле распределения температур и тепловые потоки внутри изделия. При моделировании контактных узлов важнейшими параметрами являются значение контактного термического сопротивления (КТС) между двумя соприкасающимися поверхностями и межконтактного давления.

Для оценки характеристик теплового состояния области контакта в можно использовать методику определения КТС с помощью численного моделирования. На достоверность результатов математического моделирования влияет эквивалентность цифрового двойника реальной поверхности. Методика получения цифрового двойника основана на обработке данных шероховатости поверхности и реализуется в несколько этапов: снятие профилограммы поверхности, обработка данных полученного массива точек, построение облака точек и создание цифрового двойника.

На этапе обработки данных осуществляется отсеивание излишних точек, не влияющих на качество цифрового двойника, что позволяет сократить время счёта и значительно снизить требования к необходимой аппаратной мощности вычислителя. При этом важно подобрать правильный алгоритм обработки. В качестве такого алгоритма предлагается использовать метод локальных экстремумов, позволяющий сократить размер обрабатываемого массива более чем на порядок.

После обработки данных и создания цифровой модели проводится тепловой и прочностной расчет, результатом которого является значение КТС для интересующей пары материалов и термической проводимости контакта, знание которых позволяет при проектировании обеспечить требуемую надежность контактных узлов.

Methods for constructing a digital twin of a surface for thermal and strength contact problems

Bykov L.V., Golikov N.S., Ezhov A.D., Sladkov I.S., Talalaeva P.I.
MAI, Moscow, Russia

One of the most important steps in the modern modernization of the design processes of units and assemblies of objects of developed equipment is a partial replacement of labor-intensive testing processes with more economical and fast processes of numerical modeling. The development of modern high-tech structures often includes a mandatory thermal analysis for the parameters of changes in strength characteristics, the ability of the structure to maintain a given heat balance, as well as the effect of the designed element on neighboring elements in contact with it.

The influence of assemblies of an assembly structure on each other is a rather important parameter in heat-loaded devices. For the stable functioning of the product, it is necessary to take into account possible mechanical deformations at the points of contact and the thermal regime arising in it, the temperature distribution field and heat fluxes inside the product. When modeling contact nodes, the most important parameters are the value of the thermal contact resistance (TCR) between two contacting surfaces and the intercontact pressure.

To assess the characteristics of the thermal state of the contact area in, you can use the method for determining the TCR using numerical simulation. The reliability of the results of mathematical modeling is affected by the equivalence of the digital twin to the real surface. The technique for obtaining a digital twin is based on processing surface roughness data and is implemented in several stages: taking a surface profilogram, processing the data of the resulting array of points, building a point cloud and creating a digital twin.

At the stage of data processing, redundant points are sifted out that do not affect the quality of the digital twin, which makes it possible to reduce the counting time and significantly reduce the requirements for the required hardware power of the calculator. It is important to choose the correct processing algorithm. As such an algorithm, it is proposed to use the method of local extrema, which allows reducing the size of the processed array by more than an order of magnitude.

After processing the data and creating a digital model, a thermal and strength calculation is carried out, the result of which is the TCR value for the pair of materials of interest and the thermal conductivity of the contact, the knowledge of which makes it possible to ensure the required reliability of the contact nodes during design.

Состояние и перспективы интеллектуальных систем накопления, хранения и транспортировки электрической энергии

¹Дителева А.О., ¹Слепцов В.В., ¹Савилкин С.Б., ¹Мацькин С.В., ²Гранько А.В.
¹МАИ, г. Москва, Россия

²Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

В работе представлен анализ состояния и перспективы развития систем мобильной энергетики. Пришло понимание, что необходимо повышать эффективность и экологичность генерации, использования и хранения энергии. Показана необходимость создания для решения этих задач интеллектуальных источников накопления, хранения и транспортировки электрической энергии, которые позволяют полностью контролировать все процессы генерации, потребления и транспортировки энергии за счет встроенных систем контроля и оперативной обработки информации. Сформулированы и обоснованы основные технические и эксплуатационные характеристики для таких устройств:

1. Безопасность при производстве, хранении и эксплуатации.
2. Высокая удельная энергоёмкость. Большая часть экспертов, включая представителей ВЭБ, считает, что энергоёмкость таких систем накопления электрической энергии на первом этапе (через 3-4 года) должна составлять 350-500 Вт*час/кг, а на втором этапе (в течение 10 лет) достигнуть 1000 Вт*час/кг.
3. Возможность в широких пределах управлять принимаемой и выделяемой мощностью и качеством электропитания.

4. Соответствие систем хранения и накопления электрической энергии требованиям «цифровой экономики». Которые, в первую очередь, определяются эффективной системой учёта получения, хранения, распределения и потребления энергии.

5. Экологическая безопасность при производстве, хранении и эксплуатации этих систем.

Интеллектуальные источники хранения и накопления электрической энергии обеспечивают практически все требования за исключением позиции 2 по удельной энергоёмкости. Это связано с тем, что если элементная база систем управления и контроля разработана и широко представлена в серийном производстве, то элементная база для хранения, накопления, и транспортировки электрической энергии, в основном, представлена химическими источниками тока, а в последнее время также начинает проявляться интерес к конденсаторным структурам.

Существующие конструкции и технологии производства многоразовых химических источников тока (ХИТ) и сверхёмких конденсаторных структур (СКС) обеспечивают для многоразовых ХИТ энергоёмкость 260Вт*час/кг, а СКС10-15 Вт*час/кг. Поэтому остро стоит задача в развитии новых материалов и новых технологий для систем накопления электрической энергии. Поэтому, в последнее время, большое внимание привлекает тонкоплёночная технология производства ХИТ, СКС, и гибридных СКС на основе унифицированного электродного материала, которая обеспечит реализацию этого потенциала.

State and prospects of intelligent systems of accumulation, storage and transportation of electric energy

¹Diteleva A.O., ¹Sleptsov V.V., ¹Savilkin S.B., ¹Mazikin S.V., ²Granko A.V.

¹MAI, Moscow, Russia

²Belarusian State University, Minsk, Belarus

The paper presents an analysis of the state and prospects for the development of mobile energy systems. It was realized that it is necessary to improve the efficiency and environmental friendliness of energy generation, use and storage. It is shown that it is necessary to create intelligent sources of accumulation, storage and transportation of electric energy to solve these problems, which allow you to fully control all processes of generation, consumption and transportation of energy through built-in control systems and operational information processing. The main technical and operational characteristics for such devices are formulated and justified:

1. Safety during production, storage and operation.

2. High specific energy consumption. Most experts, including VEB representatives, believe that the energy intensity of such electric energy storage systems at the first stage (in 3-4 years) should be 350-500 W*h/kg, and at the second stage (within 10 years) reach 1000 W*h/kg.

3. The Ability to control the received and allocated power and the quality of power supply in a wide range.

4. Compliance of electric energy storage and storage systems with the requirements of the "digital economy". Which, first of all, are determined by an effective system of accounting for the receipt, storage, distribution and consumption of energy.

5. Environmental safety in the production, storage and operation of these systems.

Intelligent sources of storage and storage of electrical energy meet almost all requirements with the exception of position 2 on specific energy intensity. This is due to the fact that if the element base of control and control systems is developed and widely presented in mass production, then the element base for storing, accumulating, and transporting electric energy is mainly represented by chemical current sources, and recently interest in capacitor structures is also beginning to show.

Existing designs and technologies for the production of reusable chemical current sources (UCS) and ultra-high-capacity capacitor structures (UCS) provide for reusable UCS energy consumption of 260W*h/kg, and SCS10-15 W*h/kg. Therefore, there is an urgent need to develop new materials and new technologies for electric energy storage systems. Therefore, in recent years, much attention has been drawn to the thin-film technology for the production of UCS, SCS, and hybrid UCS based on a unified electrode material, which will ensure the realization of this potential.

Методы расчета магнитных систем электромеханики с деталями из ВТСП материала

Курбатов П.А., Курбатова Е.П.

НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия

Численный расчет электромагнитного поля в магнитных системах с высокотемпературными сверхпроводниками (ВТСП) вызывает трудности из-за нелинейных, анизотропных и гистерезисных свойств материалов. Большие значения удельной электропроводности в сверхпроводящем состоянии и неоднородность тока внутри ВТСП элементов усложняют построение вычислительных алгоритмов.

Разработка методик расчета и математических моделей, описывающих свойства ВТСП материалов, направлена, с одной стороны, на повышение точности и универсальности подходов к моделированию свойств материала, с другой стороны, на получение методов для более быстрых и эффективных расчетов магнитных систем со сверхпроводниками. В НИУ «МЭИ» разрабатываются и успешно применяются методы расчета магнитных систем с ВТСП элементами на основе интегральных уравнений электромагнитного поля. Создано программное обеспечение для анализа поля в 3D конструкциях с учетом сложных свойств ВТСП материала.

Реальное распределение сверхпроводящих токов в ВТСП материале аппроксимируется векторными структурами, описываемыми двумя основными компонентами: плотностью транспортного тока J и векторным аналогом намагниченности материала M . Такие модели позволили получить более близкое к эксперименту описание поведения сверхпроводников в магнитном поле, чем традиционные модели с транспортным током.

Транспортный ток определяется законом электромагнитной индукции. В разработанном методе расчета для описания поведения транспортного тока используется модель для нелинейного удельного сопротивления ВТСП материала, так называемая резистивная модель.

Намагниченность связана с другим типом источников – связанными токами в виде малых локальных вихревых структур. Эти структуры также являются сверхпроводящими токами. Плотность магнитных моментов связанных токов описывается в виде интегрального параметра – намагниченности ВТСП материала. В отличие от транспортного тока, намагниченность определяется из стационарного состояния. Этот тип источника позволяет выполнять более точное моделирование диамагнитных свойств сверхпроводника.

Описанные выше источники магнитного поля являются аппроксимационными математическими моделями, предназначенными для численного анализа электромагнитных полей, и не полностью соответствуют физическим процессам, происходящим внутри сверхпроводника. В докладе приведены конкретные примеры применения предложенных методов в выполняемых в НИУ «МЭИ» научно-исследовательских работах.

Methods of calculation of the magnetic systems of electromechanics with elements made of HTS material

Kurbatov P.A., Kurbatova E.

NRU "MPEI", Moscow, Russia

Numerical calculation of the electromagnetic field in magnetic systems with high-temperature superconductors (HTS) causes difficulties due to the nonlinear, anisotropic and hysteresis properties of materials. Large values of the specific electrical conductivity in the superconducting state and the inhomogeneity of the current inside the HTS elements complicate computational algorithms.

The development of calculation methods for describing the properties of HTS materials is aimed, on the one hand, at increasing the accuracy and universality of approaches to modeling material properties, and, on the other hand, at obtaining methods for faster and more efficient calculations of magnetic systems with superconductors.

Methods for calculating systems with HTS elements based on the integral equations of the electromagnetic field are developed and successfully applied at NRU "MPEI". Software was developed for analyzing the field in 3D structures considering the complex properties of HTS.

The real distribution of currents in HTS is approximated by vector structures described by two main components: the transport current density J and a vector analogue of the magnetization M . Such models made it possible to describe the behavior of superconductors in a magnetic field that is closer to the experiment than the traditional models.

The law of electromagnetic induction determines the transport current. In the developed calculation method, a model for the nonlinear resistivity of an HTS material, the so-called resistive model, is used to describe the behavior of the transport current.

Magnetization is associated with another type of sources – related currents in the form of small local vortex structures. These structures are also superconducting currents. The density of the magnetic moments of the related currents is described as an integral parameter – the magnetization of the HTS material. In contrast to the transport current, the magnetization is determined from the stationary state. This type of source allows a more accurate simulation of the diamagnetic properties of HTS.

The sources of the magnetic field described above are approximate mathematical models intended for the numerical analysis of electromagnetic fields, and do not fully correspond to the physical processes taking place inside the superconductor. The report contains examples of the application of the proposed methods from the research projects carried out at NRU "MPEI".

Визуализация проникновения магнитного поля при обрыве экранирующего тока и его восстановления в импульсно намагниченном YBCO кольце

Бражник П.А., Красноперов Е.П.

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

Метод холлового сканирования был использован для измерения распределения захваченных магнитных полей над кольцом из высокотемпературного сверхпроводника (YBCO), выращенного из расплава, при различных режимах импульсного намагничивания. Сканирование обнаруживает сектор кольца с небольшим остаточным магнитным полем после импульса малой длительности (14 мс) достаточной амплитуды ($> 0,86$ Т). Также остаточное поле близко к нулю во всем отверстии кольца. При этих условиях намагничивания происходит обрыв экранирующего тока в обнаруженном секторе кольца. Этот сектор обрыва тока (COT) возникает в «слабом месте» кольца, т.е. месте с наименьшим суммарным критическим током – I_c , в виде узкого сектора резистивного состояния. Из-за нелинейности вольт-амперной характеристики сверхпроводника в «слабом месте» происходит локальное тепловыделение большей части электрической энергии, и сверхпроводимость в COT разрушается. Неоднородность критического тока I_c всегда существует либо из-за анизотропии кристалла YBCO, либо по технологическим причинам. Но при этом в остальной (большей) части кольца остаточные магнитные поля значительны, поскольку из-за слабого ее нагрева сохраняются высокие плотности тока. Если увеличить время спада намагничивающего поля с 7 мс до достаточно больших значений > 100 мс, то за это время COT успевает остыть, нерегулярность захваченного магнитного поля в COT исчезает, магнитное поле в отверстии кольца захватывается и достигает значений уровня тела кольца. В результате, намагничивание завершается аналогично сценарию процесса охлаждения в постоянном поле (FC).

Visualization of the field penetration at the shielding current break and its restoration in the pulse magnetized YBCO ring

Brazhnik P.A., Krasnoperov E.P.

NRC "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

The Hall scanning method was used to measure the distribution of the trapped magnetic field above the melt grown high temperature superconducting (YBCO) ring at various modes of the pulsed field magnetization. The scan detects the ring's sector with a small trapped magnetic field after pulse with a short duration (14 ms) of sufficient amplitude (> 0.86 T). And the residual field in the entire ring hole is also very low. Under these conditions of magnetization, the screening current is broken in the detected sector. This sector of the current break (SCB) arises in the "weak spot" of the ring, i.e. place with the lowest total critical current – I_c , in the form of a narrow sector of the

resistive state. Due to the nonlinearity of the current–voltage characteristics of the superconductor, in the "weak spot" there is a local heat release of the most electrical energy, and superconductivity in the SCB is destroyed. The critical current I_c heterogeneity always exists either due to anisotropy of YBCO crystal or for technological reasons. But in the rest (larger) part of the ring, the trapped magnetic field is significant since high current densities remain due to its weak heating. If descending time of the magnetizing field is increased from 7 ms to sufficiently large values > 100 ms, then during this time the SCB has time to cool, the irregularity of the trapped magnetic field in the SCB disappears, the magnetic field in the ring hole is trapped and reaches the values of the ring body level. As a result, magnetization is completed according to the scenario of the cooling process in a constant field (FC).

Компьютерное моделирование криостатирования сверхпроводящего магнита с кондуктивным охлаждением

Лысенко В.В., Демихов Е.И., Багдинова А.Н., Рыбаков А.С.
ФИАН, г. Москва, Россия

Представлены результаты численных расчетов тепловых процессов в криомагнитной системе с кондуктивным охлаждением. В такой системе не используются криогенные жидкости, а сверхпроводящий магнит размещается в вакуумной полости криостата и охлаждается за счет теплового контакта со встроенным криорефрижератором. Расчеты выполнены с использованием разработанной нами компьютерной модели криомагнитной системы. Модель включает в себя основные элементы конструкции криомагнита, соединенные тепловыми связями. Температурные поля вычисляются методом конечных разностей с учетом температурных зависимостей для свойств материалов. Для токовых вводов рассмотрен учет различных вариантов охлаждения, в частности через тепловой контакт со ступенями криорефрижератора, потоком охлаждающего газа или жидкости.

Проведено расчетное исследование влияния рабочего тока сверхпроводящего магнита на тепловые характеристики криомагнитной системы с кондуктивным охлаждением магнитно-резонансного томографа (МРТ). Актуальность данной задачи связана с тем, что при выборе более высокого рабочего тока для сверхпроводящего магнита, уменьшается негативная роль механотермических возмущений, препятствующих достижению магнитом проектных характеристик. Вместе с тем, чем выше ток, тем выше тепловая нагрузка на систему охлаждения. Расчеты были проведены для криорефрижератора SHI RDK-408, широко применяемого в настоящее время в МРТ, а также более мощного и современного SHI RDE-412. Холодопроизводительность второй ступени данных криорефрижераторов 1,0 и 1,25 Вт при 4,2 К соответственно. Расчеты показали, что предельные значения рабочего тока составляют примерно 580 и 650 А при использовании данных криорефрижераторов. Рабочий ток может быть значительно повышен при выделении отдельного криорефрижератора для охлаждения токовых вводов.

Computer simulation of conductively cooled superconducting magnet

Lysenko V.V., Demikhov E.I., Bagdinova A.N., Rybakov A.S.
LPI RAS, Moscow, Russia

The results of numerical simulation of thermal processes in a conductively cooled cryomagnetic system are presented. The superconducting magnet is placed in the cryostat vacuum and cooled through thermal contact with the built-in cryocooler, no cryogenic liquid is used in the system. The calculations were performed using a computer model of the cryomagnetic system developed by us. The model includes the main elements of the magnet structure, connected by thermal links. Temperature fields are calculated using the finite difference method, taking into account temperature dependences for material properties. For current leads, various cooling options are provided, in particular through thermal contact with the stages of a cryorefrigerator, a flow of cooling gas or liquid.

A numerical study of the effect of the operating current of a superconducting magnet on the thermal characteristics of a conductively cooled cryomagnetic system for magnetic resonance imaging (MRI) has been carried out. This problem is important due to the fact that with a higher

operating current, the negative role of mechano-thermal disturbances that prevent the magnet from achieving its design characteristics decreases. However, the higher the current, the higher the heat load on the cooling system. The calculations were carried out for the system cooled with a SHI RDK-408 cryocooler, which is currently widely used in MRI, and in addition for the more powerful and modern SHI RDE-412. The cooling power of the second stage of these cryocoolers is 1.0 and 1.25 W at 4.2 K, respectively. Calculations have shown that the operating current is limited by approximately 580 A and 650 A when using these cryocoolers. The operating current can be significantly increased if a separate cryocooler is used for cooling the current leads.

Сила левитации и возвращающая сила в системе стопка ВТСП-лент-постоянные магниты в широком диапазоне температур

Осипов М.А., Стариковский А.С., Анищенко И.В., Руднев И.А.
НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия

Высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) обладают значительным потенциалом для применения в системах магнитной левитации. Они широко используются для изготовления подшипников, левитационного транспорта, кинетических накопителей энергии, двигателей и генераторов. Отдельный интерес вызывает влияние температуры на левитационные свойства сверхпроводника. Несмотря на относительно большое число работ, посвященных зависимости силы левитации сверхпроводников от температуры, большинство исследований направлено на изучение объемных ВТСП, в то время как в литературе практически отсутствует информация о комплексных исследованиях влияния температуры на левитационные свойства стопок ВТСП-лент, ставших в последнее время перспективной альтернативой объемным ВТСП.

В настоящей работе мы представляем результаты исследований влияния температуры на левитационные характеристики стопок ВТСП-лент различных производителей, отличающихся значениями плотности критического тока, архитектурой и параметрами металлической подложки. В диапазоне $T=32-100$ К получены зависимости силы левитации (вертикальной компоненты силы левитации в системе постоянный магнит – стопка ВТСП) от температуры в режимах охлаждения как в нулевом поле (ZFC), так и в поле постоянных магнитов (FC) при различных наборах квадратных (12мм на 12 мм) фрагментов ВТСП лент от 5 до 70 лент в стопке. Мы установили, что вплоть до минимальных исследованных температур уменьшение температуры приводит к непрерывному увеличению силы левитации в режиме ZFC. В режиме FC за первоначальным увеличением силы наблюдается тенденция насыщения значения силы левитации.

Для оценки латеральной устойчивости системы были проведены исследования влияния температуры на силу левитации и возвращающую силу стопок ВТСП-лент, подвергающихся циклическим боковым смещениям относительно положения постоянного магнита. Для измерений использовалась 12 мм ВТСП-лента производства SuperOx. Ленты были порезаны на квадраты 12x12 мм и сложены в стопки толщиной в 10, 30 и 50 лент. Измерения проводились в диапазоне температур $T=32-100$ К, в режимах охлаждения в поле и в нулевом поле. Показано, что как сила левитации, так и латеральная возвращающая сила уменьшаются при увеличении температуры. Замечен четкий гистерезис вертикальной и горизонтальной составляющих силы левитации, который уменьшается с количеством элементов в стопке, и заметно увеличивается с повышением температуры, вплоть до 77.4 К.

Работа поддержана грантом Российского Научного Фонда (проект 17-19-01527).

Levitation force and restoring force in the HTSC tape stack – permanent magnets system in a wide temperature range

Osipov M.A., Starikovskii A.S., Anischenko I.V., Rudnev I.A.
NRNU MEPhI, Moscow, Russia

High-temperature superconductors (HTSC) have significant potential for use in magnetic levitation systems. They are widely used in bearings, levitation vehicles, kinetic energy storage devices, motors and generators. Of special interest is the effect of temperature on the levitation properties of a superconductor. Despite the relatively large number of works devoted to the

temperature dependence of the levitation force of superconductors, most studies are aimed at studying bulk HTSCs, while there is practically no information in the literature on comprehensive studies of the temperature effect on levitation properties of HTSC-tapes stacks, which have recently become promising as an alternative to bulk HTSC.

In this work, we present new results of studies of the temperature effect on the levitation characteristics of HTSC tapes stacks from various manufacturers, differing in the critical current density, architecture, and parameters of the metal substrate. In the range $T=32-100$ K, the dependences of the levitation force (the vertical component of the force in the system permanent magnet - HTSC stack) on temperature were obtained both in zero field cooling mode (ZFC) and in field cooling mode (FC) with different sets of square (12mm by 12mm) fragments of HTSC tapes from 5 to 70 tapes in a stack. We found that down to the minimum temperatures studied, a decrease in temperature leads to a continuous increase in the levitation force in the ZFC mode. In FC mode, after the initial increase in force, there is a tendency for the levitation force value to saturate.

To assess the lateral stability of the system, we studied the effect of temperature on levitation and restoring forces of HTSC tapes stacks subjected to cyclic lateral displacements relative to the position of the permanent magnet. For measurements, a 12 mm SuperOx HTSC tape was used. The tapes were cut into 12x12 mm squares and stacked in stacks of 10, 30 and 50 elements. The measurements were carried out in the temperature range $T=32-100$ K, both in ZFC and FC modes. It was found that both the levitation force and the lateral restoring force decrease with increasing temperature. A clear hysteresis of the vertical and horizontal components of the levitation force is noticeable. The hysteresis decreases with the number of elements in the stack, and noticeably increases with increasing temperature, up to 77.4 K.

This work was supported by a grant from Russian Science Foundation (Project 17-19-01527).

Численное моделирование магнитных левитационных систем сложных геометрий с использованием комбинированного А-Т-Н формализма

Анищенко И.В., Осипов М.А., Стариковский А.С., Руднев И.А.

НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия

В работе представлена обобщенная модель, сочетающая формулировки в терминах компонент магнитного поля (H), векторного магнитного потенциала (A) и токового векторного потенциала (T), которая обладает значительным преимуществом с точки зрения универсальности, затрат вычислительных мощностей и времени по сравнению с другими существующими подходами. Работоспособность модели продемонстрирована путем сравнения расчетных результатов с экспериментальными данными для измерения нагрузочных кривых подшипника с ВТСП статором. Нагрузочные кривые для сверхпроводящего подшипника были получены при вертикальных и горизонтальных смещениях. Теоретические данные соответствуют экспериментальным результатам с хорошей точностью. Кроме того, величина гистерезисных потерь при вращении подшипника была рассчитана для нескольких рабочих температур. При низкой частоте оборотов (<200 об./мин.) понижение температуры практически не оказывает влияния на величину потерь, однако для высоких скоростей вращения разница составляет ~60%. Аналогичные расчеты были выполнены в Н-формулировке и для высоких скоростей оборотов подшипника А-Т-Н модель показывает на три порядка более быструю сходимость задачи. Дискретизация геометрии расчетной области производится таким образом, чтобы обеспечить расчет основной части сверхпроводящего домена в А-Т формулировке (А-Т-ВТСП), и применение Н-формулировки (Н-ВТСП) для тех сверхпроводящих областей, где вычисление токового потенциала не обеспечивает точную сходимость задачи и корректность решения. Кроме того, Н-формализм применяется при расчете несверхпроводящих слоев ВТСП лент, а также при расчете частей внешнего расчетного домена, граничащих с Н-ВТСП слоями. Для прочих несверхпроводящих областей применяется А – формулировка, как наиболее удобная для расчета магнитных полей при отсутствии резких нелинейностей свойств домена. Таким образом, разработанная комплексная мультифизическая модель является универсальным инструментом для расчета сложных МЛС на основе ВТСП лент, их оптимизации, и

предсказания магнитных характеристик в различных режимах охлаждения и нагрузки. Исследование выполнено при поддержке Российским научным фондом (проект №17-19-01527).

Numerical simulation of the magnetic levitation systems of complex geometries using a combined A-T-H formulation

Anischenko I.V., Osipov M.A., Starikovskii A.S., Rudnev I.A.
NRNU MEPhI, Moscow, Russia

The paper presents a generalized model combining formulations in the magnetic field components terms (H), vector magnetic potential (A) and current vector potential (T), which has a significant advantage in versatility, computational power and calculation time over the other existing approaches. The efficiency of the model is demonstrated by comparing the calculated results with the experimental data for loading curves measuring for the bearing with a HTS stator. Load curves for the superconducting bearing were obtained with vertical and horizontal displacements. Calculated data correspond to experimental results with good accuracy. In addition, the hysteresis losses value during the rotation of the bearing was calculated for the several operating temperatures. At a low speed (< 200 rpm.), the temperature decrease has practically no effect on the losses magnitude, but for the high rotation speeds the difference is $\sim 60\%$. Similar calculations were performed in the H-formulation and for the high bearing speeds A-T-H model shows three orders of magnitude faster convergence of the problem. Thus, the computational domain geometry is discretized in such a way as to ensure the main part of the superconducting domain calculation in the A-T-formulation (A-T-HTS), and the use of the H-formulation (H-HTS) for those superconducting regions where the calculation of the current potential does not provide exact problem convergence and the solution correctness. In addition, the H-formalism is used in the calculation of nonsuperconducting layers of HTS tapes, as well as in the calculation of the parts of the external computational domain adjacent to the H-HTS regions. For the other nonsuperconducting regions, the A formulation is used as the most convenient for the calculating magnetic fields in the absence of sharp nonlinearities of the domain properties. This work was supported by a grant from Russian Science Foundation (Project 17-19-01527).

Использование плёночного течения жидкости под действием потока газа в миниканале для охлаждения микроэлектроники в условиях невесомости

Чеверда В.В., Кабов О.А.

ИТ СО РАН, г. Новосибирск, Россия

В современном микропроцессоре тепловой поток порядка 200 Вт/см^2 . Система воздушного охлаждения неэффективна для хорошей работы микропроцессора из-за высокой температуры (близкой к 75°C).

Одним из перспективных методов является использование плёночного течения жидкости под действием потока газа в мини- и микроканале. Показана, что критический тепловой поток может в три раза превышать критический тепловой поток пленки жидкости, свободно стекающей по поверхности при той же скорости потока жидкости [1].

Экспериментальная установка имеет два контура: жидкостный и газовый. Жидкостной шестеренчатый насос используется для перекачки рабочей жидкости в экспериментальный участок. В качестве рабочей жидкости используется дистиллированная вода. Сухой газ азот подается из газового баллона с давлением 200 бар, расход газа измеряется и регулируется массовым расходомером Bronkhorst, и используется контроллер в диапазоне расходов газа от 10 до 100 л/мин. Двухфазный поток формируется в миниканале прямоугольного сечения $30 \times 0,9 \text{ мм}^2$ и длиной 50 мм. Нагревательный элемент изготовлен из меди размером $10 \times 10 \text{ мм}$. Шпирен-метод используется для визуализации процессов внутри миниканала.

Проведены эксперименты по определению критического теплового потока в зависимости от расходов жидкости и газа, а также типа оребрения нагревательного элемента.

В рамках международного проекта на борту Международной космической станции (МКС) планируется исследовать теплообмен при двухфазном течении в условиях невесомости. Для

этого проведено несколько параболических полётов Европейского космического агентства (ЕКА). Показана возможность реализации устойчивого плёночного течения.

Эксперименты в наземных условиях выполнены за счет гранта Российского научного фонда (договор № 18-79-10258).

1. Kabov O.A., Lyulin Yu.V., Marchuk I.V., Zaitsev D.V., Locally heated shear-driven liquid films in microchannels and minichannels, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 28, pp. 103–112, 2007.

The use of a liquid film flow under the action of gas flow in a minichannel for cooling microelectronics under weightlessness

Cheverda V.V., Kabov O.A.

IT SB RAS, Novosibirsk, Russia

In a modern microprocessor, the heat flux is about 200 W/cm². The air cooling system is not so effective for good microprocessor performance due to the high temperature (close to 75 °C).

One of the promising methods is the use of a film flow of a liquid under the action of a gas flow in a mini- and microchannel. It is shown that the critical heat flux can be three times higher than the critical heat flux of a falling down liquid film over the surface at the same liquid flow rate [1].

The experimental setup has two circuits: liquid and gas. A liquid gear pump is used to pump the working fluid into the experimental section. Distilled water is used as a working fluid. Dry nitrogen gas is supplied from a gas cylinder with a pressure of 200 bar, the gas flow is measured and controlled by a Bronkhorst mass flow meter, and a controller is used in a gas flow range of 10 to 100 l / min. A two-phase flow is formed in a minichannel of rectangular cross-section 30x0.9 mm² and 50 mm long. The heating element is made of copper with size 10x10 mm. The Schlieren method is used to visualize the processes inside the minichannel.

Experiments were carried out to determine the critical heat flux depending on the flow rates of liquid and gas, as well as the type of ribbing of the heating element.

Within the framework of an international project on board the International Space Station (ISS), it is planned to study heat transfer in a two-phase flow in zero gravity. For this, several parabolic flights of the European Space Agency (ESA) were carried out. The possibility of realizing a stable film flow is shown.

Experiments in terrestrial conditions were carried out with a grant from the Russian Science Foundation (contract No. 18-79-10258).

1. Kabov O.A., Lyulin Yu.V., Marchuk I.V., Zaitsev D.V., Locally heated shear-driven liquid films in microchannels and minichannels, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 28, pp. 103-112, 2007.

Методика оценки эффективности использования покрытий для снижения термического сопротивления контакта

Ежов А.Д., Сладков И.С., Быков Л.В., Талалаева П.И., Голиков Н.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Развитие современных технологий изготовления различных технических устройств и агрегатов сложной энергонасыщенной техники естественным образом привело к повышению требований к обеспечению штатной работы теплонапряженных элементов конструкций и систем. При проектировании и эксплуатации таких систем требуется учитывать термическое сопротивление, возникающее в месте контакта деталей и узлов конструкции, которое и определяет величину тепловых потоков и состояние тепловых полей в конструкции. Термическое сопротивление в месте контакта поверхностей возникает в следствие дискретного характера их соприкосновения, определяемого шероховатостью контактирующих поверхностей. Наличие контактного термического сопротивления может приводить к перегреву отдельных деталей конструкции и к выходу её из строя.

Для решения большого количества технических задач, связанных с контактом деталей, требуется обеспечение заданного уровня термического сопротивления контакта. Применяемые в настоящее время методы изменения контактного термического сопротивления (КТС) находят широкое применение в различных областях техники, авиа- и двигателестроении, радиоэлектронике, машиностроении, химической и атомной промышленности.

Проведенный анализ различных методов снижения термического сопротивления позволяет сделать вывод, что метод нанесения на контактные поверхности покрытий из высокопластичных металлов является одним из перспективных направлений трибологии.

Нанесение лобых покрытий для снижения термического сопротивления контакта требует оценки эффективности их применения. Результатом такой оценки должен являться обоснованный выбор материала покрытия и его оптимальной толщины.

Распределение температурных полей в контактных парах конструкции можно определять по характеристикам реального рельефа микронеровностей контактирующих поверхностей и теплофизическим свойствам контактирующих материалов. Методика, основанная на создании цифровой модели состояния контактирующих поверхностей, была апробирована на контактной паре металл-покрытие-металл. На основании обработки топографии поверхности получены 3-х мерные модели шероховатости поверхностей. Следующий этап заключался в проведении теплового расчета, который позволил получить значение контактного термического сопротивления для рассматриваемой контактной пары.

Methods of assessing the efficiency of use coatings to reduce the thermal contact resistance

Ezhov A.D., Sladkov I.S., Bykov L.V., Talalaeva P.I., Golikov N.S.

MAI, Moscow, Russia

The development of modern technologies for the manufacture of various technical devices and units of complex energy-rich equipment has naturally led to increased requirements for ensuring the regular operation of heat-stressed structural elements and systems. When designing and operating such systems, it is necessary to take into account the thermal resistance arising at the point of contact of parts and components of the structure, which determines the magnitude of heat fluxes and the state of thermal fields in the structure. Thermal resistance at the point of contact of surfaces arises as a consequence of the discrete nature of their contact, determined by the roughness of the contacting surfaces. The presence of contact thermal resistance can lead to overheating of individual parts of the structure and to its failure.

To solve a large number of technical problems associated with the contact of parts, it is required to provide a given level of thermal resistance of the contact. The currently used methods for changing the thermal contact resistance (TCR) are widely used in various fields of technology, aircraft and engine building, radio electronics, mechanical engineering, chemical and nuclear industries.

The performed analysis of various methods for reducing thermal resistance allows us to conclude that the method of applying coatings from highly plastic metals to contact surfaces is one of the promising directions of tribology.

The application of any coatings to reduce the thermal contact resistance requires an assessment of the effectiveness of their application. The result of such an assessment should be a reasonable choice of the coating material and its optimal thickness.

The distribution of temperature fields in contact pairs of a structure can be determined by the characteristics of the real relief of microroughnesses of the contacting surfaces and the thermophysical properties of the contacting materials. The technique based on the creation of a digital model of the state of the contacting surfaces was tested on a metal-coating-metal contact pair. Based on the processing of the surface topography, 3-dimensional models of the surface roughness were obtained. The next stage consisted in carrying out a thermal calculation, which made it possible to obtain the value of the contact thermal resistance for the considered contact pair.

Четырехфазный импульсный преобразователь постоянного напряжения для применения в составе гибридных и электрических силовых установок летательных аппаратов

¹Шершунова Е.А., ¹Мошкунов С.И., ²Варюхин А.Н., ²Гордин М.В.

¹ИЭЭ РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ЦИАМ, г. Москва, Россия

Из-за разрастания городов и роста перевозок во всем мире сегодня наблюдается тенденция к переходу на экологический электротранспорт. Уменьшение вредных выбросов, уровня

шума и вибраций – все это преимущества зеленой авиации. Многие ведущие компании в отрасли авиастроения, среди которых Boeing и Airbus, ведут работу в этом направлении. Ими разработаны легкомоторные гибридные и электросамолеты. Однако в используемых технологиях такой важный параметр в авиастроении как отношение мощности к массе не позволяет использовать их для построения пассажирских среднемагистральных и дальнемагистральных самолетов. Для достижения требуемых параметров очень важно оптимальное распределение электроэнергии между источниками питания на борту. Источники питания, преобразователи напряжения должны иметь компактные размеры, малую массу и высокий к.п.д. Известно, что в различных режимах работы источники электропитания, аккумуляторные батареи, суперконденсаторы, топливные элементы, имеют нелинейную вольтамперную характеристику, в связи с чем существует необходимость преобразования напряжения при сохранении высокого к.п.д., малой массы и габаритов. Сегодня предлагаются различные топологии преобразователей для использования на борту. В рамках сотрудничества ИЭЭ РАН и ЦИАМ разработан понижающий-повышающий преобразователь напряжения на 10 кВт с к.п.д. 98 % для заряда аккумуляторной батареи на борту при изменении напряжения на ней от 130 до 300 В. Управление зарядом батареи реализовано посредством режима среднего тока. Для регулировки выходного тока и напряжения в схеме используется обратная связь по току и напряжению. Модульная многофазная конструкция позволяет создавать мощные преобразователи напряжения с гладкими входными и выходными сигналами, избегая применения громоздких емкостных фильтров, что положительно сказывается на массе и габаритах устройства.

Four-phase DC/DC voltage converter for use in hybrid and electrical power systems of aircraft

¹Shershunova E.A., ¹Moshkunov S.I., ²Varyukhin A.N., ²Gordin M.V.

¹IEE RAS, Saint-Petersburg, Russia

²CIAM, Moscow, Russia

Today due to the growth of cities and traffic, there is a trend around the world to move towards eco-friendly electric transport. Reducing emissions, noise and vibration are all benefits of green aviation. Many leading companies in the aircraft industry, including Boeing and Airbus, are working in this direction. They have developed light-engine hybrid and electric aircraft. However, in the technologies used, such an important parameter in aircraft construction as the ratio of power to weight, specific power density, does not allow their use for the construction of large passenger aircraft. To achieve the required parameters, it is very important to have an optimal energy distribution between power sources on board. Power supplies and voltage converters must have compact dimensions, low weight and high efficiency. It is known that in various operating modes power supplies used on board such as batteries, supercapacitors and fuel cells have a nonlinear current-voltage characteristic, and therefore there is a need for voltage conversion while maintaining high efficiency, low weight and dimensions. Various converter topologies are offered today for use on board.

10 kW buck-boost voltage converter with efficiency up to 98 % was developed in IEE RAS in cooperation with CIAM. The device can be used to charge the battery on board when the voltage changes from 130 to 300 V. The battery charging is controlled through the average current mode. Current and voltage feedback are used in the control circuit to adjust the output current and voltage at the load.

The modular multi-phase design allows creating more powerful voltage converters with smooth input and output signals avoiding the use of bulky capacitive filters. Such an approach has a positive effect on the weight and dimensions of the device.

Кросс полярные короткие маршруты для гибридных электрических криопланов и диск-дирижаблей с солнечными системами и повышении безопасности полетов

¹Поняев Л.П., ¹Куприков Н.М., ¹Куприков М.Ю., ²Gebhardt N.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²Innovation Park Innovare, Филлиген, Швейцария

Выгодные возможности перспективного развития новых регулярных как более коротких кросс полярных маршрутов с высокой безопасностью и эффективностью авиаперевозок в рамках будущей стратегии будут основываться на более перспективных гибридных электрических крио-самолетах и солнечных диск-дирижаблях.

Подобные тренды отражают развитие совместных авиационных проектов как экологически чистых зеленых технологий и соответствуют стратегии международного регулирования ИАТА/ИСАО по защите климата на земле. Отказ от традиционного углеводородного топлива заставляет рассматривать более энергосберегающие и короткие направления трансполярных полетов для дальнемагистральных воздушных судов (ДМС) с использованием криогенных технологий как гибридных электросамолетов с жидким водородом LH2 в сочетании их безопасного сопровождения с более эффективными гибридными солнечными диск-дирижаблями с аэростатической разгрузкой по типу инновационного проекта АЛА Термоплан МАИ.

Тенденции на увеличение габаритов гибридных электрических крио-ДМС вступило в конфликт с современной аэропортовой инфраструктурой и привело к поиску альтернативных вариантов арктических самолетов и дирижаблей для конструктивно компоновочных решений с понижением до минимума весовых, звуковых и вибрационных нагрузок. Проведен компьютерный структурно-параметрический анализ влияния ограничений авиационной инфраструктуры при базировании крио-ДМС на выбор альтернативных вариантов конструкции несущего корпуса фюзеляжа или альтернативной компоновки Flying-V. Новые проекты гибридных электрических крио- ДМС и аэростатических транспортных систем с инновационным покрытием нано-пленочными солнечными электро-батареями будут наиболее перспективными для использования на воздушных перевозках для снижения операционных расходов на прямых воздушных маршрутах из Канады в Китай через Якутию при реализации зеленых и безопасных технологий без загрязнения окружающей среды и с низким уровнем шума. Компьютерно-цифровой структурно-параметрический анализ был проведен на базе 3D программного комплекса для крио-ДМС с системами для оптимального размещения емкостей жидкого водорода LH2 и дискообразного АЛА и даны рекомендации для использования других электроэнергетических систем и обсуждением проблем на встречах с дирекцией швейцарского Инновационного Парка для развития гибридных электрических крио- и солар-систем в существующей инфраструктуре наземных аэропортовых комплексах-хабах для развития более коротких кросс полярных маршрутов.

Cross-polar short routes for hybrid electric cryoplanes and disk-airships with solar systems and improve flight safety

¹Ponyaev L.P., ¹Kuprikov N.M., ¹Kuprikov M.Yu., ²Gebhardt N.

¹MAI, Moscow, Russia

²Innovation Park Innovare, Villigen, Switzerland

The future strategy will be based on more promising hybrid electric cryo-aircraft and solar disk-airships for transcontinental airlines, which will provide favorable opportunities for the long-term development of new scheduled cross-polar transport and passenger routes with high safety and efficiency.

Such trends reflect the development of joint aviation projects as environmentally friendly "green technologies" and correspond to the IATA/ISAO international regulatory strategy for the protection of the earth's climate. The rejection of traditional hydrocarbon fuel forces us to consider more energy-saving and shorter TRANS-polar flight directions for long-haul aircraft (LMS) using cryogenic technologies as hybrid electric aircraft with liquid hydrogen LH2 in combination with

their safe escort with more efficient hybrid solar disk airships with aerostatic unloading, like the innovative project Ala Thermoplane MAI.

The tendency to increase the size of hybrid electric cryo-VMS came into conflict with modern airport infrastructure and led to the search for alternative options for Arctic aircraft and airships for structurally layout circuit solutions with a reduction to a minimum of weight, sound and vibration loads. A computer-digital structural-parametric analysis of the impact of aviation infrastructure limitations when basing cryo-VMS on the choice of alternative design options for the fuselage carrier body or an alternative Flying-V layout was performed. New projects of hybrid electric cryo-LMS and aerostatic transport systems with innovative nano-film coating with solar electric batteries will be the most promising for use in air transportation to reduce operating costs on direct air routes from Canada to China via Yakutia while implementing "green and safe technologies" without environmental pollution and with low noise.

Computer-digital structural-parametric analysis was carried out on the basis of a 3D software package for cryo-VMS with systems for optimal placement of liquid hydrogen tanks LH2 and disk-shaped ALA, and recommendations were given for the use of other electric power systems and problems were discussed at meetings with the Swiss Innovation Park Directorate for the development of hybrid electric cryo- and solar systems in the existing infrastructure of ground-based airport complexes-hubs for the development of shorter cross-polar routes.

Электро-импульсные технологии синтеза наночастиц металлов в жидких средах для профилактической медицины и энергетики

¹Кукушкин Д.Ю., ¹Цыркв Р.А., ¹Чжо З.Л., ²Абидов М.Т.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²Институт иммунологии, г. Любляна, Словения

Наноразмерные кластеры разных материалов в настоящее время активно начинают использовать в различных областях науки и техники. Это связано с тем, что они обладают свойствами существенно отличными от массивных материалов.

Особую актуальность чистота кластеров металлов приобретает в электронике и биотехнологии, где даже сверхмалые примеси могут существенно влиять на свойства изучаемых объектов.

Показано, что существующие методы синтеза на основе физического измельчения не обладают достаточными параметрами по производительности, эффективности, и получению высокостабильных, чистых наночастиц металлов. Отмечено, что современное развитие в области электроники и медицины требует высокоэффективных методов синтеза. Показаны основные перспективные направления применения, полученных растворов наночастиц металлов.

Проведены исследования электрического разряда в жидкой среде. На основе данных исследований разработана экспериментальная установка для получения электрических разрядов в жидкой среде, показан ее принцип действия. Проведено исследование по зависимости пробивного напряжения от сопротивления и пробивного напряжения от количества импульсов разряда в жидкой среде, исследования по использованию различных типов высоковольтной коммутации, а также отработаны режимы получения нанодисперсных растворов металлов.

Показано применение разработанных с помощью электро-импульсной технологии наноматериалов и наноструктур для электродных материалов накопителей энергии и бицидных материалов.

Полученные по электро-импульсной технологии наноструктуры были использованы для модификации электродного материала накопителей энергии. За счет нанесения металла на поверхность волокна исходного электродного материала, удалось снизить его внутреннее сопротивление на 40%, а также увеличить энергоемкость ячеек почти в 2 раза.

Поскольку разработанный метод синтеза позволяет получать растворы металлов в коллоидной форме с узким распределением по размерам и высокой степенью чистоты, были проведены работы по оценке применимости растворов наночастиц металлов в области

биотехнологий и медицины, где параметр чистоты получаемых продуктов является наиболее приоритетным среди прочих. Проведенные результаты свидетельствуют о довольно высокой антибактериальной активности исследованных образцов растворов.

Electro-pulse technologies for the synthesis of metal nanoparticles in liquid media for preventive medicine and energy

¹Kukushkin D.Y., ¹Tsyrov R.A., ¹Lwin K.Z., ²Abidov M.T.

¹MAI, Moscow, Russia

²Institute of Immunology, Ljubljana, Slovenia

Nanoscale clusters of different materials are now being actively used in various fields of science and technology. This is due to the fact that they have properties that are significantly different from massive materials.

The purity of metal clusters is of particular relevance in electronics and biotechnology, where even very small impurities can significantly affect the properties of the objects under study.

It is shown that the existing methods of synthesis based on physical grinding do not have sufficient parameters in terms of productivity, efficiency, and the production of highly stable, pure metal nanoparticles. It is noted that modern development in the field of electronics and medicine requires highly efficient synthesis methods. The main promising areas of application of the obtained solutions of metal nanoparticles are shown.

Studies of an electric discharge in a liquid medium have been carried out. On the basis of these studies, an experimental setup for obtaining electrical discharges in a liquid medium has been developed, its principle of operation is shown. A study was carried out on the dependence of the breakdown voltage on resistance and breakdown voltage on the number of discharge pulses in a liquid medium, studies on the use of various types of high-voltage switching, and also worked out the modes of obtaining nanodispersed metal solutions.

The application of nanomaterials and nanostructures developed using the electro-pulse technology for electrode materials of energy storage and biocidal materials is shown.

The nanostructures obtained by the electro-pulse technology were used to modify the electrode material of energy storage devices. By depositing metal on the fiber surface of the initial electrode material, it was possible to reduce its internal resistance by 40%, and also to increase the energy consumption of the cells by almost 2 times.

Since the developed synthesis method makes it possible to obtain solutions of metals in colloidal form with a narrow size distribution and a high degree of purity, work was carried out to assess the applicability of solutions of metal nanoparticles in the field of biotechnology and medicine, where the purity parameter of the resulting products is of the highest priority among others. The results obtained indicate a fairly high antibacterial activity of the investigated samples of solutions.

Проектный анализ гибридной электрической силовой установки для криоплана с LH2 и диск-дирижабля с криогенной системой охлаждения для использования эффекта высокотемпературной сверхпроводимости

¹Поняев Л.П., ¹Равикович Ю.А., ¹Холобцев Д.П., ²Affonso J.W.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²Embraer, г. Сао Джос дос Кампос, Бразилия

В статье приведены концептуальные подходы при проектировании криопланов, как перспективных летательных аппаратов с использованием криосистем с жидким водородом LH2 и вариантами размещения топливных цилиндрических емкостей с термозащитой, как внутри, так и вне конструкции фюзеляжа пассажирских самолетов. Проведен обобщенный комплексный анализ конструктивных компоновок с учетом обеспечения безопасности и минимизации лобового сопротивления более объемных топливных баков с LH2. Рассмотрены варианты с «надстройкой» сверху фюзеляжа, где применимо 8- образное поперечное сечение, и с вынесенными из фюзеляжа два симметрично расположенных на крыле цилиндрическими отдельными емкостями с LH2 и как более перспективный вариант размещения емкостей в виде «пеналов» внутри интегральной схемы Wing Bodyplane. Для

проведения оценки эффективности аэродинамических компоновочных схем криопланов была создана методика и программный компьютерный комплекс для расчета и выбора оптимальных решений при анализе либо классической схемы самолета, либо схемы «утка» или «ромб», либо «интегральной» схемы типа крыло-несущий фюзеляж или «летающее крыло».

Даны результаты проведенных в МАИ научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по техническому облику и расчету технических характеристик энергосистем с эффектом высоко температурной сверхпроводимости (ВТСП). Рассмотрены варианты охлаждающей компонентной системы для гибридно-электрической силовой установки самолета и дискового дирижабля по проектам МАИ, что было использовано для научных исследований в международном сотрудничестве по программе EC FUTPRINT50. Предложена расчетная схема оптимальной криогенной холодильной системы охлаждения на основе обратного цикла Брайтона с применением турбомашин с основной расчетной схемой использования криогенных систем по холодопроизводительности и уровню температуры для математической модели, созданной с использованием термодинамических моделей отдельных элементов контура, учитывающих КПД каждого элемента, гидравлические потери в трактах всех элементов системы.

Design analysis of hybrid electric propulsion cryocooling system for LH2 cryoplane and disc airship with high temperature superconductor components

¹Ponyaev L.P., ¹Ravikovich Yu.A., ¹Holobtsev D.P., ²Affonso J.W.

¹MAI, Moscow, Russia

²Embraer, Sao Jose dos Campos, Brazil

The article presents conceptual approaches to the design of cryoplanes LH2 as aircraft using cryosystems with liquid hydrogen and options for placing fuel tanks with thermal protection inside or outside the structure of perspective passenger aircraft. A generalized comprehensive analysis of the design layouts is carried out, taking into account the safety and minimization of drag of larger LH2 fuel tanks. Considered as options with a "superstructure" on top of the fuselage, where an "8"-shaped cross-section is applicable, two cylindrical separate LH2 tanks as symmetrically located on the wing are removed from the fuselage, and a more promising option is to place the tanks as "pencil cases" inside the Wing Bodyplane integrated circuit. To evaluate the effectiveness of the aerodynamic layout schemes of cryoplanes, a methodology and software package were created for calculating and selecting optimal solutions when choosing either a classic aircraft scheme, or a "duck" or "rhombus" schemes, or an "integrated" wing-bodyplane or "flying wing" type schemes.

The results of research and development work carried out at MAI on the technical appearance and calculation of technical characteristics of power systems with the effect of high-temperature superconductivity (HTS) are given. Variants of the optimal cryocooling component system for a hybrid-electric propulsion (HEP) version of an airplane and a disk airship based on the MAI R&D projects were considered, which was used for scientific research in international cooperation under the EC FUTPRINT50 program. A new design scheme for an optimal cryogenic cooling system based on the Brighton reverse cycle using turbomachines was proposed with the main design scheme for using cryogenic systems for cooling capacity and temperature level for a mathematical model created using thermodynamic models of individual circuit elements, taking into account the efficiency of each element, hydraulic losses in the paths of all elements of the system.

Электропривод на основе ВТСП лент 1-го поколения для тягового винта летательного аппарата

Задачин А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Увеличение требований к снижению загрязняющих выбросов при эксплуатации авиационной техники и уменьшению шума от авиадвигателей обуславливают тенденцию разработки новых типов силовых установок летательных аппаратов. Основные направления

связаны с развитием электроприводов тяговых винтов или вентиляторов в самолетах гражданского назначения.

Основные технологии сверхпроводимости позволяют реализовать концепцию летательного аппарата с электроприводом винта, при этом источником питания для сверхпроводниковых электродвигателей могут быть литий-ионная аккумуляторная батарея, электрохимический генератор или сверхпроводниковый генератор приводимый во вращение от газовой турбины, работающей на продуктах с водородным горючим. Специфика проектирования представленного сверхпроводникового электродвигателя определяется конструктивными особенностями: наличием криостатированной высокотемпературной сверхпроводниковой (ВТСП) обмотки индуктора с криогенным охлаждением, которая размещается на статоре; выполнением машины без ферромагнитопровода якоря, влиянием сильных магнитных полей возбуждения, необходимостью их экранирования.

В работе представлены результаты аналитического подхода к выбору главных размеров ВТСП электрической машины силовой установки атмосферного летательного аппарата в двумерной постановке задачи и приближении токовых слоев применительно к обмоткам ротора и статора. Получен аналог основного расчетного уравнения для электрической машины постоянного тока с сверхпроводящим индуктором и резистивным якорем, позволяющий учесть критериальные зависимости плотности тока в индукторе от температуры в зоне криостатирования и индукции магнитного поля. Силовые магнитные поля от ВТСП обмотки возбуждения исключают необходимость в магнитопроводе, что существенно снижает массу за счет отсутствия стали, исключает дополнительные полюса и упрощает коммутацию.

Electric drive on the basis of HTSC tapes of the 1st generation for an aircraft propeller

Zadachin A.V.

MAI, Moscow, Russia

Increased requirements for reducing polluting emissions during the operation of aircraft and reducing noise from aircraft engines are responsible for the trend of developing new types of power plants for aircraft. The main directions are associated with the development of electric drives for propellers or fans in civil aircraft.

The main superconducting technologies make it possible to realize the concept of an aircraft with an electric propeller drive, while the power source for superconducting electric motors can be a lithium-ion battery, an electrochemical generator or a superconducting generator driven by a gas turbine powered by hydrogen fuel products. The specificity of the design of the presented superconducting electric motor is determined by its design features: the presence of a cryostated high-temperature superconducting (HTSC) inductor winding with cryogenic cooling, which is located on the stator; the implementation of the machine without the armature ferromagnetic circuit, the influence of strong magnetic fields of excitation, the need to screen them.

The paper presents the results of an analytical approach to the selection of the main dimensions of the HTSC electric machine of the power plant of an atmospheric aircraft in a two-dimensional formulation of the problem and the approximation of current sheets as applied to the rotor and stator windings. An analogue of the basic design equation for a direct current electric machine with a superconducting inductor and a resistive armature is obtained, which makes it possible to take into account the criterion dependences of the current density in the inductor on the temperature in the cryostatation zone and the magnetic field induction. Power magnetic fields from the HTSC excitation winding eliminate the need for a magnetic circuit, which significantly reduces the mass due to the absence of steel, eliminates additional poles and simplifies switching.

Экология и развитие тенденций авиационного рынка

Давыдов П.К.

МАИ, г. Москва, Россия

В связи с экологической ситуацией, разрабатываются новые стандарты, ужесточающие требования к эксплуатируемым летательным аппаратам по выбросам. Активно развиваются

электродвигатели, электрические аккумуляторы и водородные топливные ячейки. Примером тому:

- сертификация полностью электрического самолета Velis Electro, с двигателем на 57,6 КВт;

- в 2019 году протестирован электродвигатель Magni500 на 750 л.с.;

- электродвигатель от компании SuperOx на сверхпроводниках мощностью 680 л.с.;

- двигатели от компании Siemens мощностями 70; 260; 2000 КВт.

Самым близким сектором для перехода на электрические двигатели является авиационный парк на турбовинтовых двигателях. Распространённые двигатели варьируются мощностями от 300 до 4000 КВт, тем более самолёты на ТВД 30-60 кресел самые возрастные – 23,9 лет.

Авиация производит 2,12% от всех выбросов CO₂ человечества. За 2019 год выброшено авиацией в атмосферу 915 млн. тонн из общих 43 млрд. тонн.

На данный момент на долю турбовинтовой авиации приходится 11% от авиации. Учитывая, что ТВД в среднем экономичней на 30%, то выбросы для данного сегмента составляют 71 млн. тонн углекислого газа.

Также прогнозируется, что к 2040 году рынок городских авиаперевозок будет иметь оборот до 2,9 триллиона долларов в год. А к 2030 году будет совершено 740 миллионов полётов на 65 км со скоростью 120 км/ч. При выбросе двигателем в среднем 0,62 кг CO₂, загрязнение составит 248 млн. кг на 2020-2030 год, то есть в 24,8 млн. кг выброса CO₂ ежегодно. Большинство проектов по аэромобильности используют электродвигатели: City Airbus, Joby, E-hang и др.

Также последние прототипы от Airbus представляют три концепции самолетов, которые могут летать с нулевым уровнем выбросов CO₂. Эти коммерческие самолеты призваны заполнить все ниши. Так, Франция вложит в «водородный» самолет 15 млрд. евро. Инвестиции должны помочь модернизировать более чем 1300 французских компаний аэрокосмической отрасли и сделать страну технологическим лидером. Согласно прогнозу, объем мирового производства водорода к 2022 году вырастет с 115 млрд. до 154 млрд. \$.

Вывод. Авиационная отрасль активно рассматривает альтернативные более экологичные источники энергии. Выделяется развитие электродвигателей и водородных топливных ячеек. Прогнозируется занятие новой ниши – аэромобильности; интеграция электродвигателей в сектор авиации с ТВД и в сектор узкофюзеляжных самолётов до 2035 года; значительное снижение уровня выбросов углекислого газа.

Ecology and trends in the aviation market

Davydov P.K.

MAI, Moscow, Russia

Due to environmental situation, new standards are being developed that tighten the emission requirements for operating aircraft. Electric motors, electric accumulators and hydrogen fuel cells are actively developing. An example of this:

- certification of an all-electric Velis Electro aircraft, with a 57.6 kW engine;

- in 2019, the 750 hp Magni500 electric motor was tested;

- electric motor from the SuperOx company on superconductors with a capacity of 680 hp;

- Siemens motors with a capacity of 70; 260; 2000 kW.

The closest sector for the transition to electric motors is the turboprop aircraft fleet. Common engines vary in power from 300 to 4000 KW, especially turboprop aircrafts of 30-60 seats are the oldest – 23.9 years old.

Aviation produces 2.12% of all human CO₂ emissions. In 2019, 915 million tons of the total 43 billion tons were emitted into the atmosphere by aviation.

At the moment, turboprop aviation accounts for 11% of aviation. Considering that turboprop engines is on average 30% more economical, the emissions for this segment are 71 million tons of carbon dioxide.

It is also predicted that by 2040 the urban air transportation market will have a turnover of up to \$ 2.9 trillion per year. And by 2030 there will be 740 million flights over 65 km at a speed of 120

km/h. With an average emission of 0.62 kg of CO₂ from the engine, the pollution will amount to 248 million kg for 2020-2030, that is, 24.8 million kg of CO₂ emissions annually. Most airmobility projects use electric motors: City Airbus, Joby, E-hang, etc.

Also the latest prototypes from Airbus represent three aircraft concepts that can fly with zero CO₂ emissions. These commercial aircraft are meant to fill all niches. Thus, France will invest 15 billion euros in a "hydrogen" aircraft. The investment should help modernize more than 1,300 French aerospace companies and make the country a technology leader. According to the forecast, the volume of global hydrogen production by 2022 will grow from 115 billion to 154 billion dollars.

Output. The aviation industry is actively considering alternative, cleaner energy sources. The development of electric motors and hydrogen fuel cells stands out. The occupation of a new niche is predicted – airmobility; the integration of electric motors into the theater sector of aviation and into the sector of narrow-body aircraft until 2035; significant reduction in carbon dioxide emissions.

Комплексная методика автоматизированного проектирования, расчета и изготовления теплообменников для малоразмерного ГТД сложного цикла

Ремчуков С.С., Лепёшкин А.Р., Ярославцев Н.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

Современная отечественная авиационная промышленность заинтересована в разработке двигателей мощностью до 1000 л.с. для беспилотных летательных аппаратов и малой авиации. В рассматриваемой размерности малоразмерные газотурбинные двигатели (МГТД) с трудом выдерживают конкуренцию с авиационными поршневыми двигателями (АПД), обладающими лучшей экономичностью. Такие преимущества газотурбинных двигателей, как малый вес, большой ресурс, многотопливность, делают актуальной задачу разработки МГТД в данном классе мощности, сравнимых с АПД по топливной эффективности.

Один из наиболее распространенных и доступных способов повышения топливной эффективности МГТД – переход на сложную термодинамическую схему. Ключевым узлом такого двигателя является теплообменник, от характеристик которого напрямую зависит эффективность МГТД. В случае применения пластинчатого теплообменника существенное влияние на эффективность оказывает геометрия теплообменной поверхности пластины.

Для создания эффективного теплообменника МГТД сложного цикла разработана комплексная методика автоматизированного проектирования, расчета и изготовления. Методика охватывает все стадии создания изделия и носит итерационный характер, что позволяет максимально приблизить конфигурацию теплообменника к наиболее эффективной.

На подготовительной стадии комплексной методики осуществляется ввод исходных данных проектантом. Определяются факторы и критерии оптимизации теплообменника, которые будут участвовать в последующих этапах.

Задача расчетного этапа комплексной методики сводится к поиску конфигурации, обеспечивающей наилучшую тепловую эффективность при допустимых гидравлических потерях. Результатом стадии проектирования и расчета является 3D модель пластины теплообменника с оптимальной геометрией теплообменной поверхности.

На следующем этапе работы комплексной методики по 3D модели пластины формируется комплект технологической оснастки для изготовления теплообменника. В методику заложен разработанный технологический процесс изготовления теплообменника с использованием лазерной установки с ЧПУ.

По предложенной методике был изготовлен экспериментальный теплообменник, который прошел комплексные испытания на стенде. Верификация методики по натурному эксперименту показала высокую сходимость расчетных и экспериментальных данных (расхождение не более 10%).

Complex methodology of computer-aided design, calculation and production of heat exchangers for small-sized complex cycle GTE

Remchukov S.S., Lepeshkin A.R., Yaroslavtsev N.L.

MAI, Moscow, Russia

The modern domestic aviation industry is interested in developing engines with a capacity of up to 1000 HP for unmanned aerial vehicles and small aircraft. In the considered dimensionality, small-sized gas turbine engines (SGTE) can hardly compete with aviation piston engines (APE), which have better efficiency. Such advantages of gas turbine engines as low weight, long service life, and multi-fuel capacity make it an urgent task to develop MGTD in this class of power, comparable to APE in fuel efficiency.

One of the most common and affordable ways to improve the fuel efficiency of SGTE is to switch to a complex thermodynamic scheme. The key node of such engine is a heat exchanger, the characteristics of which directly affect the efficiency of the SGTE. In the case of a plate heat exchanger, the geometry of the heat exchange surface of the plate has a significant impact on efficiency.

To create an efficient heat exchanger of complex cycle SGTE developed a complex methodology of computer-aided design, calculation and producing. The methodology covers all stages of product creation and is iterative in nature, which allows you to bring the heat exchanger configuration as close as possible to the most efficient one.

At the preparatory stage of the complex methodology, the designer enters the initial data. The factors and criteria for optimizing the heat exchanger that will be involved in the subsequent stages are determined.

The task of the calculation stage of the complex methodology is to find the configuration that provides the best thermal efficiency with acceptable hydraulic losses. The result of the design and calculation stage is a 3D model of the heat exchanger plate with the optimal geometry of the heat exchange capacity.

At the next stage of the complex methodology, a set of technological equipment for producing a heat exchanger is formed using a 3D model of the plate. The methodology is based on the developed technological process for producing a heat exchanger using a CNC laser plant.

According to the proposed methodology, an experimental heat exchanger was produced which passed complex tests on the stand. Verification of the methodology based on a full-scale experiment showed a high convergence of the calculated and experimental data (the discrepancy is not more than 10%).

Базовый блок интеллектуального накопителя высокой мощности

Савилкин С.Б., Слепцов В.В., Мацыкин С.В., Осипов В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Для электротранспорта актуальным является диапазон максимальных мощностей от 50 кВт до 400 кВт при напряжениях от 60 В до 1000 В. Среди резервных источников питания на текущий момент являются востребованными источники формирующие трехфазную сеть 220/380 В и мощностью от 5 кВт до 200 кВт.

Данные диапазоны мощностей меняется в достаточно широких пределах и при создании таких накопителей целесообразно использовать принцип модульности, когда накопитель с требуемыми характеристиками можно получить путем применения в нем различного количества однотипных базовых блоков. По этой причине предлагается разработать базовый блок следующего облика:

1. Рабочее напряжение блока порядка 60 В.

На малых средствах электротранспорта будет необходим один базовый блок, на локомотивах 13-14 блоков, для резервных источников питания требуется 9 блоков.

2. Емкость базового блока в интервале 250 А*ч – 300 А*ч.

При этом при напряжении 60 В емкость в кВт*ч составит от 15 кВт*ч до 18 кВт*ч. Следовательно для малых средств транспорта достаточно одного базового блока и по

емкости. Для маневрового локомотива количество блоков и по емкости составит 13-14. Для резервных источников питания количество блоков составляет 1-10.

Базовый блок состоит из 20 литий-ионных элементов. Указанное количество элементов находится в районе верхнего предела, чтобы обеспечить их балансировку.

Для реализации поставленной задачи были разработаны следующие структурные модели:

1. Накопитель в составе:

- Батареи литий-ионных элементов.
 - BMS с датчиками.
 - Балансиры с рекуперацией энергии.
 - Конструктив.
2. Система обеспечения теплового режима на элементах Пельтье.
3. Зарядное устройство.

В различных вариантах применения базового блока зарядка может происходить от весьма различных источников (солнечные батареи, ветрогенераторы, контактная сеть ж/д, стандартная электрическая сеть). Поэтому зарядное устройство функционально и структурно отделено от накопителя. Предлагается разработать зарядное устройство для наиболее типичного варианта для зарядки от стандартной питающей сети 220/380 В.

4. Испытательный стенд.

Стенд в составе: эквивалента нагрузки, обеспечивающий возможность отбора максимальной мощности одного базового блока 50 кВт., системы контроля параметров в процессе заряда-разряда с выводом на компьютер.

При финансовой поддержке Минобрнауки России, номер соглашения о предоставлении гранта 075-15-2020-770.

High power smart storage base

Savilkin S.B., Sleptsov V.V., Matsykin S.V., Osipov V.V.
MAI, Moscow, Russia

For electric transport, the range of maximum powers from 50 kW to 400 kW at voltages from 60 V to 1000 V is relevant. Among the backup power sources, at the moment there are popular sources forming a three-phase network of 220/380 V and a capacity of 5 kW to 200 kW.

These power ranges vary within a fairly wide range, and when creating such drives, it is advisable to use the modularity principle, when a drive with the required characteristics can be obtained by using a different number of the same basic units in it. For this reason, it is proposed to develop a base unit of the following appearance:

1. The operating voltage of the unit is about 60 V.

Small electric vehicles will need one basic unit, locomotives will have 13-14 units, and 9 units are required for backup power supplies.

2. The capacity of the base unit in the range of 250 A*h – 300 A*h.

At the same time, at a voltage of 60 V, the capacity in kW*h will be from 15 kW*h to 18 kW * h. Therefore, for small means of transport, one basic unit is sufficient in terms of capacity. For a shunting locomotive, the number of blocks and capacity will be 13-14. For redundant power supplies, the number of units is 1-10.

The base unit consists of 20 lithium-ion cells. The indicated number of elements is in the area of the upper limit to ensure their balancing.

To accomplish this task, the following structural models were developed:

1. Drive consisting of:

- Batteries of lithium-ion cells.
 - BMS with sensors.
 - Energy recovery balancers.
 - Constructive.
2. System for ensuring thermal conditions on Peltier elements.
3. Charger.

In different applications of the base unit, charging can come from very different sources (solar panels, wind turbines, railway overhead, standard electrical network). Therefore, the charger is functionally and structurally separate from the storage. It is proposed to develop a charger for the most typical variant for charging from a standard 220/380 V power supply network.

4. Test bench.

A stand consisting of: a load equivalent, providing the ability to take out the maximum power of one basic unit of 50 kW., A system for monitoring parameters during the charge-discharge process with output to a computer.

Рациональный выбор параметров энергосистемы

Терентьев В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Перспективным направлением создания энергоустановок для «более электрического» самолета является разработка систем, сокращение потерь в которых может происходить за счет использования элементов, работающих на основе эффекта высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) [1]. В свою очередь, ВТСП элементы будут требовать наличие системы криообеспечения, для которой также будут необходимы такие узлы, как вакуумные насосы, теплообменники [2] и пр.

Перед разработчиком стоит ряд задач: определение параметров иерархии разрабатываемой сложной системы [3]; формирование адекватной среды разработки; создание вариантов энергосистемы; оценка каждого варианта технического решения на соответствие, в том числе, экономическим критериям жизненного цикла [4]. При этом, при использовании систем ВТСП и криообеспечения, растет число взаимосвязанных параметров. Требования к разрабатываемому облику энергосистемы выражаются через области допустимых значений параметров, описывающих узлы и системы энергетического комплекса.

Рациональный выбор облика энергосистемы предлагается проводить через представление его вариантов, в соответствии с [5], в виде цепочки проектирования состоящей из параметрически связанных элементов изделия. Должны учитываться задействованные в цепочке ресурсы и ограничения среды проектирования.

Литература:

1. System Approach of Usability of HTS Electrical Machines in Future Electric Aircraft, Dezhin D., Ivanov N., Kovalev K., Kobzeva I., Semehin V., IEEE Transactions on Applied Superconductivity Volume, 28, Issue 4, June 2018, DOI: 10.1109/TASC.2017.2787180
2. Система криообеспечения, Фирсов В.П., Ковалев К.Л., Антохов И.В., Верещагин М.М., Равикович Ю.А., Холобцев Д.П., Ермилов Ю.И., Балабошко Н.Г., Тимушев С.Ф., Патент на изобретение RU 2616147 C1, 12.04.2017.
3. Чадеев В.М. Выбор параметров иерархии при проектировании изделий и автоматизации технологических процессов. — М.: Институт проблем управления РАН им. Трапезникова В.А., 2004.
4. Терентьев В.В. Требования к средствам анализа технико-экономических параметров при разработке авиационных двигателей. 18-я международная конференция "Авиация и Космонавтика - 2019". Тезисы. МАИ. 2019. с. 71-72.
5. Терентьев В. В. Выбор цепочки распределенного проектирования сложного машиностроительного изделия в информационном пространстве // Вестник Московского авиационного института. 2010. Т. 17. № 1. С. 131-135.

Rational choice of power system parameters

Terentyev V.V.

MAI, Moscow, Russia

A promising direction in the creation of power plants for a "more electric" aircraft is the development of systems, the reduction of losses in which can occur due to the use of elements operating on the basis of the effect of high-temperature superconductivity (HTSC). In turn, HTSC elements will require a cryo-supply system, which will also require such units as vacuum pumps, heat exchangers [2], etc.

The developer is faced with a number of tasks: determination of the parameters of the hierarchy of the developed complex system [3]; formation of an adequate development environment; creation of power system options; assessment of each variant of a technical solution for compliance, including with the economic criteria of the life cycle [4]. At the same time, when using HTSC systems and cryosystems, the number of interrelated parameters increases. Requirements for the developed appearance of the power system are expressed in terms of the range of permissible values of the parameters describing the nodes and systems of the power complex.

The rational choice of the appearance of the power system is proposed to be carried out through the presentation of its variants, in accordance with [5], in the form of a design chain consisting of parametrically connected product elements. The resources involved in the chain and the constraints of the design environment must be considered.

References:

1. System Approach of Usability of HTS Electrical Machines in Future Electric Aircraft, Dezhin D., Ivanov N., Kovalev K., Kobzeva I., Semeniin V., IEEE Transactions on Applied Superconductivity Volume, 28, Issue 4, June 2018, DOI: 10.1109/TASC.2017.2787180

2. Cryoprovizion System . Firsov V., Kovalev K, Antyukhov I, Vereshchagin M., Ravikovich Y., Kholobtsev D., Ermilov Y., Balaboshko N., Timushev S. RU 2616147 C1, 12.04.2017.

3. Chadeev V.M. The choice of hierarchy parameters in the design of products and automation of technological processes. V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, 2004.

4. Terentyev V.V., Requirements for Assessment Tools for Technical and Economic Indicators in the Development of Aircraft Engines. 18th International Conference "Aviation and Cosmonautics - 2019" Abstracts, MAI, 2019. C. 385.

5. Terentyev V. V. The choosing of collaborative product development chain in a knowledge - based system. Aerospace MAI Journal, 2010, vol. 17, no 1, pp. 131-135.

3. Системы управления, информатика и электроэнергетика

3. Control Systems, Informatics and Power Engineering

Анализ возможности применения таблиц решений при конструкторском и технологическом проектировании

Абрамова М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

При проектировании изделий авиационной техники специалистам, ответственным за подготовку конструкторской и технологической документации (КТД), приходится обрабатывать огромные массивы данных и принимать решения в отношении множества задач. Большая часть таких задач относится к области выбора оптимального решения из заранее заданного массива альтернатив. Например, выбор материалов, инструментов и вспомогательных средств, или выбор коэффициентов для расчетов требуемых габаритов изделия.

Принятие подобных решений в ходе проектирования чаще всего представляет собой процесс, состоящий из ряда взаимосвязанных шагов: определение множества условий, учитываемых при принятии решений; определение возможных сочетаний условий (ситуаций); определение множества возможных решений или действий, предпринимаемых в результате проверки условий; определение набора действий или решений, которые выполняются или принимаются при определенных значениях параметров условий.

Для моделирования принятия решений в указанных случаях возможно применение методологии таблиц решений. Табличная модель организации данных для принятия решений выработана уже давно и получила широкое распространение в области экспертных систем. Таблицы решений применяются для доступного изложения, логического анализа и формализации сложных задач в области принятия решений.

Основными преимуществами применения методологии таблиц решений в качестве основы для проектирования и разработки специализированных автоматизированных систем, предназначенных для проектирования КТД, является повышение надежности и полноты анализа различных параметров, значения которых влияют на процесс подготовки КТД. Кроме того, возможность модификации, а также наглядное и компактное представление массивов обрабатываемых данных даст возможность специалистам, ответственным за подготовку КТД, самостоятельно заниматься информационным обеспечением процессов принятия решений, не обладая специфичными знаниями в области программирования.

Литература:

1. Хамби Э. Программирование таблиц решений: Пер. с англ. / Э.Хамби. – М.: Мир, 1976. – 82с.
2. Зайцев К. С., Чернов И. В., Мифтахова Ч.М. Исследование и разработка языковых и программных средств систем моделирования процессов принятия решений в АИУС. Рос. акад. наук. Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова. – М., 2002. – 65 с.

Analysis of the possibility of using decision tables in design and technological engineering

Abramova M.A.

MAI, Moscow, Russia

Responsible for the preparation of design and technological documentation specialists have to process huge amounts of data and make decisions of variety tasks in the design process of aircraft. Most of these problems relate to the choice of the optimal solution from a predetermined array of alternatives. For example, there is the choice of materials, tools and production resources, or the choice of coefficients for calculating the required dimensions of the product.

Making such decisions in the design process is most often a number of interrelated steps: determination of the set of conditions that are taken into account in making decisions process; determination of possible combinations of conditions (situations); determination of the set of possible decisions or actions to be taken as a result of checking conditions; determination of the set of actions or decisions that are performed or taken under certain values of the conditions parameters.

It is possible to use the decision tables methodology to model decision-making in these cases. The tabular model of data organization for decision-making has been developed for a long time and it is widely used as base for various expert systems. Decision tables are used for an accessible presentation, logical analysis and formalization of complex problems in the decision making.

The main advantages of using the decision table methodology as a basis for the design and development of specialized automated systems intended for the design of design and technological documentation is to increase the reliability and completeness of the analysis of various parameters, the values of which affect the process of preparing the design and technological documentation. In addition, the modification possibility, as well as the descriptive and compact representation of the processed data arrays, will enable the responsible for preparing the design and technological documentation specialists to independently engage in information support for decision-making processes without having specific knowledge in the field of programming.

References:

1. Hambi E. Programming decision tables: Translate from English. / E. Hambi. – M.: Mir, 1976. – 82s.
2. Zaitsev K.S., Chernov I.V., Miftakhova Ch.M. Research and development of language and software tools for modeling decision-making processes in AIMS. V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences. - M., 2002. -- 65 p.

Исследование возможности применения нейросетевых моделей распознавания деталей турбонасосного агрегата ЖРД для применения в системах компьютерного зрения

Агешин Е.С., Сёмина М.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Аэрокосмическая промышленность является одной из менее роботизированных. Причин для этого несколько: высокая сложность конструкций изделий; большое наличие мелких деталей, сложных для монтажа роботами, высокие требования к качеству работы, низкая степень взаимозаменяемости деталей.

Возникает вопрос: как можно контролировать сборочные процессы в реальном времени? Одним из таких решений является система контроля с помощью компьютерного зрения.

В данной эксперименте в качестве образца использовался турбонасосный агрегат (ТНА) двигателя РД-120. Сборка/разборка ТНА состоит из 10 позиций, но в данной работе было выбрано несколько деталей: Гайка 12 (nut_12), Гайка 15 (nut_15), Шнек 11(shnek_11), Отражатель 14 (reflect_14), Ротор турбины_16 (turbRotor_16). Номера деталей соответствуют инструкции. Таким образом были сформированы следующие группы деталей: nut_15 и shneck_11, nut_15 и nut_12, nut_12, shneck_11, reflect_14 и turbRotor_16.

Для проверки распознавания были выбраны следующие 6 групп исходных данных: скриншоты моделей и смесь скриншотов деталей с их фотографиями.

В качестве модели для обучения использовалась сверточная нейронная сеть Alexnet. Для ускорения обучения сети был использован подход, основанный на добавлении нормализующих слоев на этапе обучения. Также в архитектуре сети был уменьшен размер ядра подвыборки (max-pool) с 3x3 на 2x2.

Для повышения точности классификации исходный набор данных увеличивался в 10 раз. Балансировка данных была сохранена, а аугментация выполнялась изменением параметров изображения и аффинными преобразованиями.

При анализе результата распознавания фотографий выделялась общая тенденция: во всех случаях процент распознавания с использованием фото оказывался ниже. Даже невысокое

качество САД-модели обеспечивает вероятность распознавания более 70%. Но увеличение количества распознаваемых объектов ведет к ухудшению распознавания. Причинами являются малое количество изображений для обучения или настройки параметров обучения. В итоге, максимальный процент распознавания – 96% (обучение на скриншотах схожих деталей), а минимальный – 36% (обучение на фотографиях).

Максимально высокий показатель распознавания говорит об эффективности модели. Подтверждено, что возможно распознавать детали на фотографиях, ориентируясь только на изображениях из САД-редактора. Такой результат утверждает, что при грамотном обучении моделей можно использовать исключительно скриншоты и показывать высокоточный результат определения объекта на фото.

Research of the possibility of neural network models application for recognizing parts of rocket engine's turbo pump unit for application in computer vision systems

Ageshin E.S., Semina M.V.

MAI, Moscow, Russia

The aerospace industry is one of the less robotic. There are several reasons for this: high complexity of product designs; large availability of small parts that are difficult to install by robots, high requirements for the quality of work, low degree of interchangeability of parts.

The question arises: how can you control assembly processes in real-time? One such solution is a computer vision control system.

In this experiment, a turbopump unit (TNA) of the RD-120 engine was used as a sample. Assembly / disassembly of the THA consists of 10 positions, but in this work several parts were selected: Nut 12 (nut_12), Nut 15 (nut_15), Auger 11 (shnek_11), Reflector 14 (reflect_14), Turbine rotor_16 (turbRotor_16). Part numbers correspond to instructions. Thus, the following groups of parts were formed: nut_15 and shneck_11, nut_15 and nut_12, nut_12, shneck_11, reflect_14 and turbRotor_16.

To check the recognition, the following 6 groups of initial data were selected: screenshots of models and a mixture of screenshots of parts with their photographs.

The Alexnet convolutional neural network was used as a training model. To speed up the training of the network, an approach based on the addition of normalizing layers at the training stage was used. Also in the network architecture, the size of the core of the subsample (max-pool) was reduced from 3x3 to 2x2.

To improve the classification accuracy, the original dataset was magnified 10 times. Data balancing was preserved, and augmentation was performed by changing the image parameters and affine transformations.

When analyzing the result of photo recognition, a general tendency stood out: in all cases, the percentage of recognition using a photo was lower. Even a low-quality CAD model provides a recognition probability of over 70%. But an increase in the number of recognized objects leads to a deterioration in recognition. The reasons are a small number of images for training or setting training parameters. As a result, the maximum percentage of recognition is 96% (training on screenshots of similar details), and the minimum is 36% (training on photographs).

The highest recognition rate indicates the effectiveness of the model. It has been confirmed that it is possible to recognize details in photographs, focusing only on images from a CAD editor. This result states that with competent training of models, you can use only screenshots and show a highly accurate result of identifying an object in a photo.

Управление несоответствующими результатами процессов в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-2015

Барменков Е.Ю., Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 организация должна сохранять документированную информацию, которая содержит состав предпринятых действий по устранению несоответствий. В случаях поставки потребителю

несоответствующей продукции/услуги в документированную информацию вносятся сведения о лице/подразделении, принявшем решение о ее продолжении.

Стандарт требует от организации:

- Исключить поставку несоответствующей продукции потребителям.
- Обеспечить определение причин несоответствий.

Причины возникновения отклонений от требований, заложенных в чертежах, техническом задании или контракте:

- Низкое качество исходных материалов.
- Ошибки, допущенные при проектировании или производстве.
- Отказы оборудования.
- Колебания параметров технологического процесса.
- Недостаточная квалификация работников, и др.

В организации должны быть созданы условия, чтобы персонал на любой стадии процесса мог своевременно обнаружить, сообщить и устранить несоответствия. Следует разрабатывать процедуры по управлению несоответствиями. Они направлены на защиту потребителя от непреднамеренного получения несоответствующей требованиям продукции и предотвращение избыточных затрат, связанных с доработкой такой продукции.

В определенных ситуациях организация проводит обследование другой продукции, проектируемой или обрабатываемой согласно тем же процедурам, что и несоответствующая продукция. Например, когда по данным анализа установлено, что причиной несоответствия продукции послужил некачественный исходный материал, пересматривают процедуру контроля материалов как исследуемого вида продукции, так и других видов.

Несоответствующая продукция направляется на:

- Переделку с целью достижения соответствия установленным требованиям.
- Принятие по разрешению на отклонение.
- Перевод в другую категорию.
- Отбраковку или отправку в отходы.

Анализ причин несоответствий и последующих действий с несоответствующей продукцией производит квалифицированный персонал с использованием специально разработанных методов анализа.

Продукция, прошедшая доработку или переделку, направляется на повторный контроль и подвергается необходимым испытаниям. При решении о возврате готовой продукции (находящейся на складе, отправленной к потребителю или эксплуатируемой) организация руководствуется соображениями безопасности, юридической ответственности за качество продукции и удовлетворения требований потребителя.

Management of nonconforming process results in accordance with the requirements of GOST R ISO 9001-2015

Barmenkov E.Y., Borisova E.V.

MAI, Moscow, Russia

In accordance with the requirements of GOST R ISO 9001-2015, the organization must maintain documented information that contains the composition of actions taken to eliminate nonconformities. In cases of delivery of non-conforming products/services to the consumer, the documented information includes information about the person/division that made the decision to continue it.

The standard requires an organization to:

- Exclude the supply of nonconforming products to consumers.
- Ensure that the causes of nonconformities are identified.

Reasons for deviations from the requirements laid down in the drawings, terms of reference or contract:

- Poor quality of raw materials.
- Errors in the design or manufacture of the.
- Equipment failure.

- Fluctuations in process parameters.
- Insufficient qualifications of employees, etc.

The organization must ensure that staff at any stage of the process can detect, report, and resolve nonconformities in a timely manner. Procedures for managing nonconformities should be developed. They are aimed at protecting the consumer from unintentional receipt of non-compliant products and preventing excessive costs associated with the completion of such products.

In certain situations, the organization surveys other products that are designed or processed according to the same procedures as nonconforming products. For example, when the analysis found that the cause of non-conformity of products was poor-quality source material, review the procedure for controlling the materials of both the studied product type and other types.

Nonconforming products are sent for:

- Rework in order to achieve compliance with the established requirements.
- The adoption of the waiver.
- Transfer to another category.
- Rejection or disposal.

Analysis of the causes of nonconformities and subsequent actions with nonconforming products is performed by qualified personnel using specially developed analysis methods.

Products that have been modified or reworked are sent for re-inspection and subjected to the necessary tests. When deciding on the return of finished products (stored in a warehouse, sent to the consumer, or operated), the organization is guided by safety considerations, legal responsibility for product quality, and customer satisfaction.

Управление точностью контурной обработки на станках с ЧПУ

¹Белоусов Н.А., ²Кузнецов П.М.

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, ²МАИ, г. Москва, Россия

Практика контурной обработки на станках с ЧПУ показала значительное снижение точности размеров получаемых деталей при увеличении контурной скорости. Анализ сложившегося положения дел показал, что основной проблемой является существенный рост динамических ошибок, возникающих в следящих системах приводов подач по отдельным координатам. Использование современных материалов режущей части инструмента в сочетании с легкообрабатываемыми материалами обрабатываемых заготовок позволяет существенно повысить режимы обработки. Часто это повышение оказывается необходимым вследствие требования обеспечения оптимальной скорости резания. Наиболее распространенным способом снижения влияния динамических ошибок является снижение величины расчетной величины контурной скорости до величины, при которой обеспечивается заданная точность. Такой подход приводит к снижению производительности обработки, снижению стойкости инструмента и определенному увеличению шероховатости обрабатываемых поверхностей изготавливаемых деталей. Вместе с тем контроль параметров изготавливаемых деталей позволяет сделать вывод, что во многих случаях участки траектории на которых происходит увеличение погрешности, превышающие допустимую величину имеют не большую протяженность по сравнению с ее общей длиной. Таким образом оказывается необходимым принятие мер лишь на отдельных участках, имеющих малую протяженность.

Авторы предлагают разработанный ими метод, при котором управление точностью контурной обработкой осуществляется путем формирования дополнительных скоростных сигналов, обеспечивающих в ходе движения обрабатывающего инструмента в поле допустимого его положения относительно заданной траектории его движения.

Формирование скоростных сигналов осуществляется на основе разработанной математической модели, описывающей траекторию движения инструмента во времени. Моделирование работы систем управления осуществляется в реальном масштабе времени и позволяет прогнозировать перспективное поведение системы, обеспечивающей движение инструмента. Расчет строится на основе динамических характеристик систем приводов по отдельным координатам и может автоматически корректироваться при обнаружении

расхождений реальных данных о положении в пространстве режущего инструмента и его расчётным значением. Эксперимент, проведенный в лаборатории кафедры «Металлорежущие станки» МГТУ им. Н.Э. Баумана показал, что разработанный подход обеспечивает повышение производительности в среднем на 30%, при обеспечении требуемой точности.

Controlling the accuracy of contour processing on CNC machines

¹Belousov N.A., ²Kuznetsov P.M.

¹BMSTU, ²MAI, Moscow, Russia

The practice of contour processing on CNC machines has shown a significant decrease in the dimensional accuracy of the resulting parts with an increase in contour speed. Analysis of the current state of Affairs has shown that the main problem is a significant increase in dynamic errors that occur in tracking systems of feed drives for individual coordinates.

The use of modern materials of the cutting part of the tool in combination with easily processed materials of the processed workpieces can significantly improve the processing modes. This increase is often necessary because of the requirement to ensure optimal cutting speed. The most common way to reduce the impact of dynamic errors is to reduce the calculated value of the contour speed to the value at which the specified accuracy is provided. This approach leads to a decrease in processing productivity, a decrease in tool life, and a certain increase in the roughness of the processed surfaces of manufactured parts. At the same time, monitoring the parameters of manufactured parts allows us to conclude that in many cases, the sections of the trajectory where the error increases, exceeding the permissible value, do not have a large length compared to its total length. Thus, it is necessary to take measures only on certain sections that have a small length.

The authors propose a method developed by them, in which the accuracy of contour processing is controlled by generating additional speed signals that ensure that the processing tool moves in the field of its permissible position relative to the specified trajectory of its movement.

The formation of high-speed signals is based on the developed mathematical model that describes the trajectory of the tool in time. Simulation of the operation of control systems is carried out in real time and allows you to predict the long-term behavior of the system that provides tool movement. The calculation is based on the dynamic characteristics of the drive systems for individual coordinates and can be automatically corrected when discrepancies are detected between the actual data on the position in space of the cutting tool and its calculated value. An experiment conducted in the laboratory of the Department "Metal-cutting machines" of Bauman Moscow state technical University showed that the developed approach provides an increase in productivity by an average of 30%, while ensuring the required accuracy.

Деятельность человека на поверхности Луны: риски и стратегии их снижения

Брель А.О., Брехов О.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Профессиональная деятельность человека на поверхности Луны характеризуется рядом факторов, которые содержат в себе риски нанесения вреда, как космонавту, так и оборудованию, а также выполнению запланированной программы работ. К таким факторам относятся, как естественные (ландшафт, пыль, пониженная весомость, излучение и т.д.), так и факторы, связанные с деятельностью космонавта (ориентирование, работа в скафандре, операции с инструментом и т.д.). Исключить воздействие этих факторов на человека, при выполнении работ на поверхности Луны, не представляется возможным, поэтому наиболее рациональным решением будет разработка стратегий, снижающих вероятность возникновения рисков, связанных с данными факторами.

Эти стратегии включают в себя как методические подходы (адекватная подготовка космонавтов, разработка процедур проведения работ на поверхности Луны), а также разработка новых и модернизация имеющихся технических средств (инструмент, средства обеспечения работ на поверхности Луны, технические средства подготовки космонавтов).

Одним из перспективных направлений модернизации ТСПК является внедрение технологий дополненной реальности (ДР). Технологии ДР позволят обеспечить безопасную и оптимальную профессиональную деятельность на поверхности Луны, благодаря более качественной и наглядной подготовке. Демонстрация фотографий, видеозаписей, схем и трёхмерных моделей без необходимости отвлекаться на их поиск, позволяет космонавтам более оперативно получать информацию, а организация обмена данными между устройствами, улучшает согласованность совместных действий космонавтов в процессе проведения работ на поверхности Луны и доступность консультаций, получаемых от инструктора.

Применение ДР имеет положительный опыт, как в промышленности, так и в космической отрасли в частности. Уже разработаны готовые промышленные решения ДР, например LightGuideSystem, нашедшие своё применение на заводах Fiat Chrysler Automobiles. Фирма Boeing активно применяет собственную систему ДР при сборке самолётов, а также при подготовке космонавтов по программе пилотируемых полётов на кораблях Starliner.

Технологии ДР имеют различные технические решения, что позволит осуществить модернизацию ТСПК в соответствии с существующими требованиями к подготовке космонавтов. В докладе рассматриваются вопросы практической применимости систем ДР для снижения рисков деятельности человека на поверхности Луны, а также некоторые варианты, которыми можно реализовать данную технологию.

Human activity on the Moon surface: Risks and mitigation strategies

Brel A.O., Brekhov O.M.

MAI, Moscow, Russia

Professional human activity on the Moon surface is characterized with an amount of factors, which contain inside themselves risks of inflicting damage to a cosmonaut, payload or flight program. They include natural factors (landscape, moon dust, reduced gravity, e.g.) and human agency factors (orientation, work in spacesuits, work with tools, e.g.). Fully exclusion of this factors during human activity on the moon surface, is impossible, so the most rational decision at this point will be elaboration of strategies, that will reduce probability of risks performing, which are connected with this factors.

These strategies include method approach (sufficient cosmonaut training, development of the Moon surface activity procedures) and development of new devices or modernization of exciting one (tools, activity support devices on the Moon surface, cosmonaut training devices).

One of the promising ways of cosmonaut training devices modernization is implementation of augmented reality technologies (AR). AR can provide safe and rational professional activity on the Moon surface due to better and visual-oriented training. Demonstration of photos, videos, schemes and 3D-models without necessity of searching gives a possibility for cosmonauts to get information swiftly and organization of data exchange between devices will improve coordination between cosmonauts during activity on the Moon surface and clarity of consultations, received from instructor.

AR usage has positive usage experience in industry and cosmonautics. Ready-to-use AR-solutions are already developed, for example LightGuideSystem, which are using on Fiat Chrysler Automobiles facilities. Boeing is actively using self-made AR-system in airplane assembly and astronaut training through program Starliner.

AR-technologies have various realization, that gives possibility to upgrade cosmonaut training devices in accordance to exciting requirements for cosmonaut training. In report there are reviewed questions of practical usage of AR in terms of reducing risks during activity on the Moon Surface and some solution, which can be used for realization of this technology.

Исследование функции преобразования роторного МОЭМ-преобразователя угловой скорости

Бульчев Р.П., Бусурин В.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Использование считывающих узлов на основе оптического туннелирования [1] для регистрации колебаний чувствительного элемента в роторном преобразователе угловой скорости вместо емкостного съема дает ряд преимуществ. К наиболее значимым можно отнести устранение возможности пробоя и уменьшение нелинейности функции преобразования.

Выходная оптическая мощность роторного микромеханического преобразователя угловых скоростей с оптическим считыванием сильно зависит от параметров чувствительного элемента. В узле считывания оптическое излучение источника проходит через оптический элемент ввода и, затем, через воздушный зазор, отражается от роторного резонатора и еще раз проходит через воздушный зазор, попадая на элемент вывода излучения и далее – на приемник излучения.

Проведено исследование влияния малых изменений конструктивных параметров оптических считывающих узлов и, в том числе, изменений величины начального зазора в пределах $\pm 0,01$ мкм. В результате показано, что увеличение величины начального зазора приводит к увеличению выходной оптической мощности и, наоборот, уменьшение величины начального зазора – к ее уменьшению. Также изменение величины начального зазора приводит к появлению погрешности в определении действующей угловой скорости по величине выходной оптической мощности.

Начальный зазор между роторным резонатором и интегрированным элементом ввода-вывода, который выполнен в виде призмы полного внутреннего отражения, влияет на выходную оптическую мощность, поступающую на приемник излучения, и, как следствие, на выходные характеристики преобразователя угловых скоростей. Анализ показал, что при увеличении или уменьшении зазора на 0,0005 мкм и 0,001 мкм погрешность выходной оптической мощности составляет 0,6% и 1,25% соответственно.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-08-00108).

Литература:

1. Busurin V.I., Zheglov M.A., Shleenkin L.A., Korobkov K.A., Bulychev R.P. Development of an Algorithm to Suppress Frequency Splitting of an Axisymmetric Resonator of a Wave Solid-State Gyroscope with Optical Detection. Measurement Techniques, 2020, vol. 62, no. 10, pp. 879–884. doi: 10.1007/s11018-020-01708-0.

Investigation of the transfer function of the rotary MOEM angular velocity transducer

Bulychev R.P., Busurin V.I.
MAI, Moscow, Russia

The use of reading units based on optical tunneling [1] for registering sensitive element oscillations in a rotary angular velocity transducer instead of capacitive pickup gives a number of advantages. The most significant are the elimination of electric breakdown possibilities and the reduction of the nonlinearity of the transfer function.

The optical output power of a rotary micromechanical angular velocity transducer with optical readout strongly depends on the parameters of the sensitive element. In the readout unit, the optical radiation passes through the optical input element and, then, through the air gap, is reflected from the rotor resonator, once again passes through the air gap, falling on the radiation output element and then on to the radiation receiver.

The study of the effect of small changes in the design parameters of optical readout units, including changes in the value of the initial gap within ± 0.01 μm . As a result, it is shown that an increase in the value of the initial gap leads to an increase in the output optical power and, conversely, a decrease in the value of the initial gap leads to its decrease. Also, a change in the value of the initial gap leads to the appearance of an error in the value of the effective angular velocity in terms of the output optical power.

The initial gap between the rotor resonator and the input-output element, which is made in the form of a total internal reflection prism, affects the output optical power supplied to the radiation receiver and, as a consequence, the output characteristics of the angular velocity transducer. Analysis shows that with an increase or decrease in the gap by 0.0005 μm and 0.001 μm , the error in the output optical power is 0.6% and 1.25%, respectively.

References:

1. Busurin V.I., Zheglov M.A., Shleenkin L.A., Korobkov K.A., Bulychev R.P. Development of an Algorithm to Suppress Frequency Splitting of an Axisymmetric Resonator of a Wave Solid-State Gyroscope with Optical Detection. *Measurement Techniques*, 2020, vol. 62, no. 10, pp. 879–884. doi: 10.1007/s11018-020-01708-0.

Формирование оптимальной траектории беспилотного летательного аппарата

Бумай А.Ю.

БНТУ, г. Минск, Беларусь

Одной из самых распространенных задач является нахождение оптимальной траектории полета беспилотного летательного аппарата и определения закона управления для поставленной задачи. При этом важной особенностью является решение «двухточечной краевой задачи» при оптимальном законе управления.

В качестве постановки задачи рассмотрена траектория интервального типа, представляющая собой в общем случае три интервала: следование в область задания, затем выполнение задания и возврат или вылет из области задания. Для каждого интервала задается новая инерциальная система отсчета, что является важным фактором, позволяющим наводить беспилотный летательный аппарат, в том числе, и на движущуюся точку в пространстве, а также реагировать на изменяющиеся внешние условия. Математическая модель определяется аппроксимацией полиномом так как достаточно проста и может быть программно реализована на борту беспилотного летательного аппарата. Следуя поставленной задаче был проанализирован критерий оптимизации, включающий в себя интегральные потери с течением времени управления полетом и точность достижения цели, а именно классическая задача Больцмана. Рассмотрен и проанализирован квадратичный функционал Летова-Калмана. Представлено практическое решение задачи оптимизации и формирования траектории с обоснованным критерием, где в качестве составляющих функционала выбрано отклонение траектории от заданных точек, прогноз вектора скорости, нормальное ускорение управления.

В результате исследования предложен метод аналитического синтеза параметров управления беспилотного летательного аппарата, позволяющий синтезировать закон управления, обеспечивающий оптимальные параметры.

Formation of the optimal trajectory of the unmanned aerial vehicle

Bumai A.Y.

BNTU IIIE, Minsk, Belarus

One of the most common tasks is to find the optimal flight path of an unmanned aerial vehicle and determine the control law for the task. In this case, an important feature is the solution of the "two-point boundary value problem" with the optimal control law.

Interval-type trajectory is considered, which generally represents three intervals: moving to the task area, performing the task and return or departure from the task area. For each interval, a new inertial reference system is set, which is an important factor that allows the unmanned aerial vehicle to be guided, including at a moving point in space, as well as to respond to changing external conditions. The mathematical model is determined by approximation by a polynomial, since it is quite simple and can be implemented in software on board an unmanned aerial vehicle. Following declared task, the optimization criterion was analyzed, including the integral losses over time of flight control and the accuracy of achieving the goal, namely the classical Boltzmann problem. The quadratic Letov-Kalman functional is considered and analyzed. A practical solution to the problem of optimization and formation of a trajectory with a justified criterion is presented, where the

deviation of the trajectory from the specified points, the forecast of the velocity vector, and the normal acceleration of control are selected as the components of the functional.

As a result of the research, a method for the analytical synthesis of control parameters for an unmanned aerial vehicle was proposed, which allows synthesizing a control law that provides optimal parameters.

Средства для дистанционного проведения лабораторных работ по программированию в вузе

Гинзбург И.Б., Ананьев Р.В., Куйдин М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В связи пандемией COVID-19 вузы столкнулись с необходимостью перехода на дистанционный режим работы. Для дисциплин, где используется лабораторное оборудование, невозможность доступа к нему стала причиной изменения учебных программ или отмены занятий.

В данной ситуации, улучшить обеспечение дистанционного проведения лабораторных и практических занятий возможно с помощью:

- Программных платформ SaaS и виртуальной инфраструктуры IaaS [1, 2].
- Платформ для размещения веб-приложений и серверной части мобильных приложений.
- Средств обеспечения доступа к виртуальным рабочим столам VDI/RDP [3].
- Программных симуляторов лабораторного оборудования.

В учебных заведениях, где осуществляется обучение студентов программированию, создание сред разработки в виде веб-приложений позволит обеспечить доступ студентов к выполнению практических и лабораторных работ на любом языке программирования с любого стационарного и мобильного клиентского устройства.

Преподавателям это позволит проверять выполненные студентами задания с высокой степенью автоматизации данного процесса вне зависимости от местоположения студентов и преподавателя.

Основой таких для создания сред разработки может послужить Jupyter Notebook [4] – веб-приложение с открытым исходным кодом, позволяющее создавать документы, содержащие в себе код программ на различных языках программирования и результаты его выполнения.

Для реализации поддержки одновременной работы нескольких пользователей используется Jupyter Hub, что позволяет запускать множество экземпляров Jupyter Notebook на одном сервере.

Поддержка различных языков программирования реализуется с помощью системы ядер Jupyter Kernel, которая позволяет связать интерпретатор любого языка программирования с веб-приложением.

Таким образом, обеспечивается возможность дистанционного выполнения практических и лабораторных работ по программированию.

Литература:

1. Кондрашов Ю.Н. Использование аналитических технологий в системах поддержки принятия решений на этапах жизненного цикла аэрокосмических изделий // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. №5. С. 37-41.
2. Кондрашов Ю.Н. Развитие хранилищ данных для работы с Big Data в системах поддержки принятия решений. Научно-технический вестник Поволжья. 2019. №9. С. 30-33.
3. Падалко С.Н. Рекомендации для консалтинга в области информатизации организаций // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 12. С. 267-270.
4. Project Jupyter [Электронный ресурс] URL: <https://jupyter.org/>

Means for remote laboratory work on programming in the university

Ginzburg I.B., Ananiev R.V., Kuydin M.A.

MAI, Moscow, Russia

Due to the COVID-19 pandemic, universities have faced the need of switching to a remote mode of operation. For disciplines that use laboratory equipment, the inability to access this equipment has led to changes in curricula or classes cancellation.

In this situation, it is possible to improve the provision of remote laboratory and practical training with the help of:

- SaaS software platforms and IaaS virtual infrastructure [1, 2].
- Web applications and mobile applications server side hosting platforms.
- VDI / RDP virtual desktops access providing means [3].
- Laboratory equipment software simulators.

In educational institutions where students are taught programming, the creation of development environments as web applications will provide students with access to the implementation of practical and laboratory work in any programming language from any stationary and mobile client device.

This will allow teachers to check the tasks completed by students with a high degree of process automation, regardless of the students and the teacher location.

Jupyter Notebook [4], an open source web application that allows you to create documents containing the code of programs in various programming languages and the results of its execution, can serve as the basis for such development environments.

Jupyter Hub is used to support the simultaneous operation of multiple users, which allows to run multiple instances of Jupyter Notebook on one server.

Support for various programming languages is implemented using the Jupyter Kernel, which allows to associate an interpreter of any programming language with a web application.

Thus, it is possible to remotely perform practical and laboratory programming work.

References:

1. Kondrashov Yu.N. The use of analytical technologies in decision support systems at the stages of the aerospace products' life cycle // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2019. No. 5. pp. 37-41.
2. Kondrashov Yu.N. Development of data warehouses for working with Big Data in decision support systems // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2019. No. 9. pp. 30-33.
3. Padalko S.N. Recommendations for consulting in the field of organizations' informatization // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2018. No. 12. pp. 267-270.
4. Project Jupyter [Electronic resource] URL: <https://jupyter.org/>

Особенности паяльных 3D-масок

Горелов А.О., Васильев Ф.В.

МАИ, г. Москва, Россия

На кафедре 307 «Информационные системы и цифровые технологии» Московского авиационного института проводятся исследования, направленные на разработку технологии нанесения паяльных масок с помощью 3D-принтера, так называемых «паяльных 3D-масок». Использование технологии 3D-печати позволяет расширить функции паяльных масок, но при этом сильно ограничено используемыми в 3D-печати материалами. Важным преимуществом использования паяльных 3D-масок может являться использование их на внутренних слоях печатных плат со встроенными компонентами, что позволит повысить надежность таких плат. Наиболее близкими к обычным паяльным маскам свойствами обладают жидкие фотополимеризующиеся композиции (ФПК), используемые в 3D-принтерах, основанных на технологии стереолитографии с применением акрилатных или эпоксидных материалов. Эпоксидные смолы обладают лучшими для паяльных масок свойствами, но имеют узкий диапазон актиничного излучения и требуют больших энергий для фотополимеризации. В подавляющем большинстве недорогих 3D-принтеров, основанных на технологиях стереолитографии (в том числе PolyJet), используются ФПК, основанные на акрилатных смолах. Создание 3D-принтеров, печатающих ФПК на основе эпоксидных смол, может быть актуальной задачей не только для печати 3D-масок, но и печати диэлектрических оснований печатных плат.

Традиционные паяльные маски имеют ряд недостатков, стекают с рельефа проводящего рисунка вплоть до полного оголения. В случае применения паяльных 3D-масок имеется возможность не только регулировать толщину и количество слоев покрытия, но и

количество наносимого материала на отдельные участки печатной платы. Помимо этого, за счет применения 3D-печати, имеется возможность создавать зоны недоотвержденной маски и регулировать степень отверждения. Это позволит обеспечить дополнительную фиксацию компонентов к печатной плате, а, при использовании внутренних слоев МПП с встроенными компонентами, может позволить отказаться от применения препрегов при прессовании МПП, что положительно может сказаться на надежности и технологичности конечных изделий. Как и в случае препрегов, недоотвержденная паяльная 3D-маска может заполнить пустоты вокруг встроенных компонентов, улучшить адгезию между слоями МПП, а дальнейшее отверждение возможно за счет воздействия повышенной температуры в процессе прессования.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0015.

Features of 3D solder masks

Gorelov A.O., Vasilyev F.V.

MAI, Moscow, Russia

At the department 307 "Digital Technologies and Information Systems" of the Moscow Aviation Institute research is underway aimed at developing a technology for applying solder masks using a 3D printer, the so-called "solder 3D masks". The use of 3D printing technology expands the functions of solder masks, but at the same time it is very limited by the materials used in 3D printing. An important advantage of 3D solder masks can be their use on the inner layers of printed circuit boards with embedded components, which will increase the reliability of such boards. Liquid photopolymerizable compositions (LPPC) used in 3D printers based on stereolithography technology have the closest properties to common solder masks. The most common LPPCs are based on acrylate or epoxy resins. Epoxy resins have the better properties to form solder masks, but they have a small range of actinic radiation and require more energy for photopolymerization. The vast majority of inexpensive 3D printers use LPPCs based on acrylate resins. The creation of 3D printers that print LPPCs based on epoxy resins can be a relevant task.

Traditional solder masks are partially free of these disadvantages, but, like film ones, they actually do not allow their use on the inner layers of multilayer PCB with embedded components, have a fixed thickness, and in addition, flow down from the relief of a conductive pattern up to complete removal. In the case of using 3D soldering masks, it is possible not only to adjust the thickness and number of coating layers, but also the amount of material applied to various sections of the printed circuit board. In addition, through the use of 3D printing, it is possible to create areas of an uncured mask and adjust the degree of cure. This will provide additional fixation of the components to the printed circuit board, and, when using internal layers of multilayer PCB with embedded components, it can make it possible to exclude the use of prepregs when pressing, which can have a positive effect on the reliability and manufacturability of the final products. As with prepregs, an uncured 3D solder mask can fill space around embedded components, improve adhesion between layers of PCB, and further cure is possible by pressing with increased temperature.

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FSFF-2020-0015).

Малогоабаритный навигационный комплекс для беспилотных летательных аппаратов

Долгов В.В., Коротков О.В., Благов С.Г., Огнев В.А.

АО «АП-Восход», г. Москва, Россия

В настоящее время в вооруженных силах всего мира БПЛА используются для широкого круга задач: от аэрофотосъемки и разведки до поражения объектов противника. Система навигации БПЛА использует сигналы от спутниковых радионавигационных систем GPS/ГЛОНАСС/Galileo/BeiDou. К несомненным плюсам указанной системы можно отнести всеуточность, всепогодность, большую площадь покрытия, относительно высокую точность навигационных решений. Существенным недостатком, особенно при военном

применении, является подверженность влиянию имитационных и маскирующих помех, создаваемых средствами радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

В АО «Аэроприбор-Восход» ведутся разработки аппаратуры измерения пространственного положения для малой авиации, также на предприятии разработана помехозащищенная аппаратура спутниковой навигации с многоэлементной активной антенной системой. На базе данных разработок, а также применения серийно выпускаемых АО «АП-Восход» датчиков высотно-скоростных параметров может быть создан малогабаритный навигационный комплекс (МНК) для определения пространственного положения и угловой ориентации БЛА, позволяющий определять указанные параметры в условиях воздействия средств РЭБ.

Помехозащищенность достигается за счет применения многоэлементной активной антенной системы с блоком подавления помех, интеграции БИНС и спутниковой радионавигационной системы (СРНС), применения датчика магнитного поля Земли (ДМПЗ), специального модуля определения угла тангажа и приемника воздушного давления.

Навигационный комплекс представляет собой тесносвязанную (комплексирование на первичном уровне) интегрированную систему с комплексированием по выходам оценок навигационных параметров (координат, скоростей). БИНС реализуется на микромеханических измерительных элементах. Система функционирует в интегрированном и автономном режимах (без использования аппаратуры спутниковой навигации).

МНК имеет следующие ключевые особенности.

1) Высокоточное определение пространственного положения и ориентации объекта-носителя в интегрированном режиме в условиях воздействия малогабаритных носимых средств РЭБ, находящихся в «открытой» продаже (мощность 1-30 Вт).

2) Определение пространственного положения и ориентации при полном подавлении сигналов спутниковых радионавигационных систем военными средствами РЭБ большой мощности. Автономное (не требующее коррекции от СРНС) определение ориентации и высоты обеспечивает барражирование объекта-носителя в районе цели при полном подавлении СРНС.

Small-sized navigation system for unmanned aerial vehicles

Dolgov V.V., Korotkov O.V., Blagov S.G., Ognev V.A.

JSC "AP-Voshod", Moscow, Russia

Currently, the armed forces of the world use UAVs for a wide range of tasks: from aerial photography and reconnaissance to hitting enemy targets. The UAV navigation system uses signals from GPS/GLONASS/Galileo/Beidou satellite radio navigation systems. The undoubted advantages of this system include all-season, all-weather, large coverage area, and relatively high accuracy of navigation solutions. A significant disadvantage, especially in military applications, is the exposure to imitation and masking interference created by electronic warfare. JSC "AP-Voshod" is developing spatial position measurement equipment for small aircraft, and the company has also developed noise-proof satellite navigation equipment with a multi-element active antenna system. Based on these developments, as well as the use of commercially available sensors of altitude and speed parameters developed by "AP-Voshod", a small-sized navigation system can be created to determine the spatial position and angular orientation of the UAV, which allows determining these parameters under the influence of electronic warfare.

Noise immunity is achieved by using a multi-element active antenna system with an anti-jamming unit, integrating the strap-down inertial navigation system (SINS) and satellite radio navigation system (SRNS), using an Earth magnetic field sensor, a special pitch angle detection module and an air pressure receiver.

The navigation system is a tightly coupled (integration at the primary level) integrated system with integration by the outputs of navigation parameters (coordinates, speeds).

Small-sized navigation system key features:

1) High-precision determination of the spatial position and orientation of the carrier object in an integrated mode under the influence of small-sized portable electronic warfare devices that are on "open" sale (power 1-30 W).

2) Determination of the spatial position and orientation with complete jamming of signals from satellite radio navigation systems by military high-power electronic warfare systems. Autonomous (not requiring correction from the satellite navigation system) determination of orientation and altitude provides patrol of the carrier object in the target area with complete jamming of the satellite navigation system.

Синтез контура управления рулем высоты автопилота самолета малой авиации при ограничениях на диапазон отклонения по шарнирному моменту

Егоров В.А., Бисенов О.В., Книга В.С.

КБПА, г. Саратов, Россия

В настоящее время в Российской Федерации уделяется большое внимание развитию и поддержанию в эксплуатации самолетов малой авиации. Малая авиация применяется для широкого спектра задач — для пассажирских и грузоперевозок, для народного и сельского хозяйства, в борьбе с лесными пожарами и для задач санитарной авиации.

Географические особенности страны накладывают серьезные требования к продолжительности и протяженности авиаперелетов, осуществляемые посредством самолетов малой авиации. Большая часть движения по маршруту следования осуществляется в горизонтальном полете. При ручном управлении самолетом со стороны пилота постоянно требуются вмешательства в управление для компенсации возмущений, что сказывается на его утомляемости и безопасности полета в целом.

Снижение нагрузок на летчика достигается путем установки автопилота. Одним из важных режимов автоматического управления является режим «Автотриммирование», позволяющий скомпенсировать нагрузки в проводке управления, возникающие вследствие действия аэродинамических сил на органы управления, увеличить эксплуатационный ресурс исполнительных механизмов автопилота путем снижения на них нагрузок, обеспечить безударное задействие автопилота.

Целью работы является разработка контура управления рулем высоты в режиме «Автотриммирование» в условиях ограничения на диапазон отклонения по шарнирному моменту с расширением эксплуатационной области применения на переходные режимы полета самолета малой авиации.

В работе рассматривается синтез контура управления рулем высоты, с ограничением скорости нарастания шарнирного момента при управлении на переходных режимах полета. Метод управления заключается в адаптации времени переходного процесса контура управления рулем высоты к динамике триммерного электромеханизма при воздействии возмущений без ухудшения характера переходного процесса с применением нелинейного Anti-Windup подхода.

В работе демонстрируются результаты математического моделирования полета самолета малой авиации в режиме «Автотриммирование», подтверждающие эффективность предлагаемого подхода компенсации шарнирного момента на руле высоты при парировании типовых возмущений.

The autopilot elevator control loop synthesis of a small aircraft with restrictions on the hinge moment deviation range

Egorov V.A., Bisenov O.V., Kniga V.S.

DBIA, Saratov, Russia

At present, the Russian Federation puts a greater emphasis on the development and maintenance of small aircraft. Small aircraft are used for a wide range of tasks — passenger and cargo transportation, national and agricultural applications, control of forest fires and for air ambulance operations.

The geographical features of the country pose serious requirements on the air travel time and length carried out by small aircraft. Most of the movement along the route is in level flight. When

the pilot manually controls the aircraft, overriding is constantly required for disturbance suppression, which affects pilot's fatigue and flight safety in general.

If the aircraft is equipped with the autopilot, the pilot's load is reduced. One of the important automatic control mode is Autotrimming mode, which makes it possible to compensate the loads in the control wiring caused by aerodynamic forces on the controls, to increase the service life of the autopilot actuators by reducing the loads and to ensure smooth autopilot engagement.

The aim of the work is to develop an elevator control loop in "Autotrimming" mode under the restrictions on the hinge moment deviation range increasing the applicability to the transition flight of a small aircraft.

This paper presents the synthesis of the elevator control loop, with the limitation of the increase rate of the hinge moment when controlling in transient flight. The control procedure consists in adapting the time of the transient process of the elevator control loop to the dynamics of the trim actuator under the external effects without the deterioration of transient process using the Anti-Windup non-linear approach.

This paper introduces the mathematic model results of small aircraft flight in Autotrimming mode showing current approach efficiency of elevator pressure compensation when counteracting typical disturbances.

Лазерная техника для стабилизации полёта воздушного судна

Егоров В.В., Картуков А.В., Меркишин Г.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В процессе пилотирования воздушного судна (ВС) часто возникают сложности при прохождении полёта в условиях неоднородной атмосферы. При этом ВС испытывает перегрузки, способные при некорректных действиях пилота повлечь за собой повреждение или разрушение ВС. При использовании в данной ситуации автопилота система стремится совершать манёвры корректировки курса и высоты исходя из условий усредненной атмосферы на основании данных, получаемых от приборов контроля атмосферы. При таком подходе резкие изменения плотности и давления вокруг ВС невозможно учесть, а отсутствие таких данных приводит к ошибкам управления. В работе предлагается система экспресс-анализа состояния атмосферы в непосредственной близости к ВС, основанная на принципе оценки угла отклонения лазерного луча на неоднородностях плотности воздуха. Оценка угла отклонения луча осуществляется путём оценки парциальных значений мощности расфокусированного светового потока лазера, поступающих на плоскости окон координатно-чувствительного четырёхканального фотоприёмника. Смещение луча регистрируется, и далее после обработки в зависимости от полученных значений устройство оценки передаёт команды корректировки напрямую на рули управления ВС, тем самым сводя до минимума задержку корректировки. Предлагаемая система позволит решать следующие задачи:

- Автоматическая стабилизация ВС в турбулентной среде, основанная на прямом доступе системы к рулям управления либо на комплексировании данных бортового оборудования контроля состояния атмосферы с целью повышения адекватности принимаемых автопилотом решений;
- Стабилизация ВС во время боевых действий для высокоточной стрельбы в условиях как естественных, так и искусственных турбулентностей атмосферы;
- Стабилизация ВС при формировании радиолокационного изображения (РЛИ) местности, в частности при использовании методики инверсного синтеза апертуры, что значительно повышает качество получаемого РЛИ;
- Упрощение процедуры дозаправки в воздухе;
- Стабилизация ВС при посадке в условиях порывов бокового ветра;
- Контроль срыва потока на крыле и приближения штопора;
- Контроль распределения давления на крыльях нового самолета при пробежках на земле и подготовке первого вылета.

Был собран экспериментальный стенд, позволивший оценить достоверность и оперативность такой оценки, а также приведены расчетные соотношения, позволяющие оценить эффективность будущей автоматической системы корректировки полета ВС.

Laser technique for aircraft flight stabilization

Egorov V.V., Kartukov A.V., Merkishin G.V.

MAI, Moscow, Russia

In the process of piloting an aircraft, difficulties often arise when passing a flight in a non-uniform atmosphere. At the same time, the aircraft experiences overloads that can lead to damage or destruction of the aircraft if the pilot does not act correctly. When using autopilot in this situation, the system seeks to make course and altitude adjustment maneuvers based on the conditions of the average atmosphere based on data received from atmospheric monitoring devices. With this approach, sharp changes in density and pressure around the aircraft cannot be taken into account, and the lack of such data leads to control errors. The paper proposes a system for rapid analysis of the state of the atmosphere in the immediate vicinity of the aircraft, based on the principle of estimating the angle of deflection of the laser beam on inhomogeneities of air density. The beam deflection angle is estimated by estimating the partial power values of the defocused laser light flux arriving at the window planes of a coordinate-sensitive four-channel photodetector. The proposed system will solve the following tasks:

- Automatic stabilization of the aircraft in a turbulent environment, based on direct access of the system to the steering wheels or on the integration of data from on-Board equipment for monitoring the state of the atmosphere in order to increase the adequacy of decisions made by the autopilot;
- Stabilization of the aircraft during combat operations for high-precision shooting in conditions of both natural and artificial atmospheric turbulence;
- Stabilization of the aircraft when forming a radar image (RLI) of the terrain, in particular when using the inverse aperture synthesis technique, which significantly improves the quality of the obtained RLI;
- The simplification of procedures for in-flight refueling;
- Stabilization of the aircraft during landing in conditions of crosswind gusts;
- Control of the flow stall on the wing and the approach of the corkscrew;
- Control of the pressure distribution on the wings of a new aircraft when running on the ground and preparing for the first flight.

An experimental stand was assembled that allowed us to evaluate the reliability and efficiency of such an assessment, as well as the calculated ratios that allow us to evaluate the effectiveness of the future automatic flight correction system of the aircraft.

Разработка инструмента для создания унифицированных адаптивных веб-представлений баз данных

Ермаков А.А., Гинзбург И.Б., Моисеев М.Д., Солдатенков И.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В связи с массовой цифровизацией бизнеса огромные объемы данных сегодня нужно хранить и обрабатывать в СУБД [1,2]. С переходом к удаленному взаимодействию все более актуальным становится создание представлений для обеспечения дистанционного доступа к данным сотрудников и клиентов предприятий.

Разработка, тестирование и отладка специализированных приложений для работы с данными занимает длительное время. Процесс можно упростить, используя готовые решения, такие как Microsoft Access или LibreOffice Base, но такое упрощение приведет к затратам на обучение сотрудников и серьезно ограничит доступ к данным по сети с различных устройств. Другим способом обеспечить дистанционную работу является использование веб-приложений. Для взаимодействия с такими СУБД, как MySQL, PostgreSQL, MSSQL, на основе фреймворков могут быть написаны веб-интерфейсы. Но для создания таких веб-интерфейсов требуются знания и умения в области программирования, а получившиеся решения будут требовать доработки программистом, если структура данных даже незначительно изменится.

Предлагаемое авторами решение увеличит скорость разработки веб-интерфейсов для СУБД, т.к. для этого будет нужно будет только уметь писать SQL-запросы, результаты выполнения которых будут отображаться в уже созданном интерфейсе. Интерфейс веб-приложения адаптивен и одинаково хорошо отображается на стационарных и мобильных терминальных устройствах [3]. Компоненты и логика интерфейса сделаны интуитивно понятными, чтобы пользователь мог разобраться без длительного обучения [4].

Предлагаемая система написана на PHP и JavaScript, поддерживает популярные СУБД, использующие SQL. Данное решение позволит специалистам по данным создавать необходимые интерфейсы, не прибегая к помощи программистов.

Литература:

1. Кондрашов Ю.Н. Использование аналитических технологий в системах поддержки принятия решений на этапах жизненного цикла аэрокосмических изделий // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. №5. С. 37-41.

2. Кондрашов Ю.Н. Развитие хранилищ данных для работы с Big Data в системах поддержки принятия решений. Научно-технический вестник Поволжья. 2019. №9. С. 30-33.

3. Столярчук В.А. Поддержка жизненного цикла ракетно-космических систем с использованием мобильных приложений // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 218-220.

4. Столярчук В.А. Постпроцессор учебно исследовательской CAE Sigma для обучения разработчиков САПР аэрокосмической области // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 300-303.

Databases' unified responsive web view creation tool development

Ermakov A.A., Ginzburg I.B., Moiseev M.D., Soldatenkov I.S.

MAI, Moscow, Russia

Due to the tend of business becoming digital, huge amounts of data today need to be stored and processed in a DBMS [1, 2]. With the transition to remote interaction, it is becoming more and more important to create views to provide remote access to data of enterprise employees and customers.

Developing, testing, and debugging specialized data-driven applications takes a long time. The process can be simplified using out-of-the-box solutions such as Microsoft Access or LibreOffice Base, but such simplification will result in employee training costs and severely limit the network data access from various devices. Another way to enable telecommuting is the use of web applications. For interaction with such DBMS as MySQL, PostgreSQL, MSSQL, framework based web interfaces can be created. But creating such web interfaces requires programming knowledge and skills, and the resulting solutions will require further development by the programmer, if the data structure changes even slightly.

The solution proposed by the authors will increase the speed of DBMS web interfaces development, since all you need to do is be able to write SQL queries, the results of which will be displayed in the precreated interface. The web application interface is responsive and equally well displayed on stationary and mobile terminal devices [3]. The components and logic of the interface are made intuitive so that the user can figure it out without lengthy training [4].

The proposed system is written in PHP and JavaScript, supports popular DBMS that use SQL. This solution will allow data scientists to create the necessary interfaces without the help of programmers.

References:

1. Kondrashov Yu.N. The use of analytical technologies in decision support systems at the stages of the life cycle of aerospace products // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2019. No. 5. pp. 37-41.

2. Kondrashov Yu.N. Development of data warehouses for working with Big Data in decision support systems // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2019. No. 9. pp. 30-33.

3. Stolyarchuk V.A. Support for the life cycle of rocket and space systems using mobile applications // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2015. No. 3. pp. 218-220.

4. Stolyarchuk V.A. Postprocessor of the educational research CAE Sigma for training CAD developers in the aerospace area // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2014. No. 5. pp. 300-303.

Методический подход к автоматизации телекоммуникационной системы аэропорта

Ефимова Н.С., Кудашов Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время безопасность полетов зависит от качества и эффективности IT-инфраструктуры. В противном случае эксплуатация аэропорта становится под вопросом. Одним из важных составляющих этой IT-инфраструктуры является телекоммуникация. Специфика телекоммуникационной системы заключается в том, что от ее эффективности, надежности и безотказности зависит не только собственное благополучие аэропорта, но и связь диспетчеров с летальными аппаратами, а также с соседними аэропортами для регулировки полетов. Именно поэтому в условиях жесткой конкурентной борьбы за своего абонента операторы связи чаще всего претендуют на обеспечение наивысшего уровня надежности. Таким образом, необходим инструмент, содержащий единую базу данных, которая позволит всем отделам взаимодействовать друг с другом, а аэропорту, избавиться от дублирования и потери информации, а также отслеживать результаты деятельности каждого сотрудника. Данная специфика организации деятельности требует построения системы процессного управления для обеспечения эффективной работы телекоммуникационной компании. Для нее характерна относительно малая материалоемкость и повышенная наукоемкость, соответственно применяется высококвалифицированный труд специалистов по информационно-телекоммуникационным технологиям, что является основой для обеспечения наибольшего эффекта от применения. Для решения данной задачи является внедрение системы OSS/BSS Naumen Telecom. Это комплексное программное решение класса OSS/BSS для автоматизации бизнес-процессов телекоммуникационных компаний с интеграцией в деятельность аэропорта. Срок внедрения довольно небольшой, что в свою очередь упростит сопровождение и обслуживание, так же система имеет открытый тип и позволяет проводить дополнительную настройку и модернизацию. Naumen Telecom уже имеет опыт внедрения в ряде российских предприятий. Применение данной системы позволит получить эффективные инструменты контроля над операционной деятельностью.

Methodical approach to airport telecommunication system automation

Efimova N.S., Kudashov N.V.

MAI, Moscow, Russia

SFlight safety from the quality and efficiency of IT infrastructure. Otherwise, the operation of the airport becomes in question. One important component of this IT infrastructure is telecommunications. The specifics of the telecommunication system is that its efficiency, reliability and reliability depend not only on the airport's own well-being, but also on the communication of dispatchers with lethal devices, as well as with neighboring airports for flight control. That is why in the conditions of fierce competition for their subscriber, telecom operators most often claim to ensure the highest level of reliability. A single database tool is therefore needed to enable all departments to interact with each other and the airport to avoid duplication and loss of information and to track the performance of each staff member. This specificity of the organization of activity requires the construction of a process management system to ensure the effective operation of the telecommunications company. It is characterized by relatively low material intensity and increased knowledge intensity, accordingly, highly qualified work of specialists in information and telecommunications technologies is used, which is the basis for ensuring the greatest effect from the application. To solve this problem, the implementation of the OSS/BSS Naumen Telecom system is required. This is a comprehensive OSS/BSS software solution for automating the business processes of telecommunications companies with integration into the airport. The implementation period is quite short, which in turn will simplify maintenance and maintenance, the system is also of an open type and allows for additional configuration and modernization. Naumen

Telecom already has experience in implementing in a number of Russian enterprises. The application of this system will provide effective tools for controlling operations.

Исследование возможностей вычисления параметров ориентации в интегрированных инерциально-спутниковых навигационных системах в условиях информационно-измерительной недостаточности

Жарков М.В., Веремеенко К.К., Кузнецов И.М., Пронькин А.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

Инерциально-спутниковые навигационные системы (ИСНС) [1,2] получили широкое распространение благодаря таким преимуществам как: высокие точность и уровень целостности, возможность минимизировать массо-габаритные характеристики и стоимость. Один из режимов работы ИСНС – режим начальной выставки (НВ), без успешного завершения которого невозможно функционирование системы. Ключевой задачей НВ следует считать определение начальной ориентации осей инерциальных датчиков относительно базовой системы координат. Решение этой задачи в зависимости от условий и требований к точности занимает от десятков секунд до десятков минут. При этом в ряде практических применений возникает необходимость скорейшего перехода в режим определения навигационных параметров еще до завершения режима НВ. В этой связи ИСНС, в которых применяется одноантенный приемник спутниковых навигационных систем (СНС), вынуждено функционирует в условиях информационной недостаточности. Такая проблема не возникает, если используется многоантенный приемник, вычисляющий параметры ориентации. Вычисление этих параметров по сигналам СНС возможно только в случае успешного разрешения целочисленной неоднозначности фазовых измерений. При наличии достаточного и избыточного по сравнению со стандартным режимом СНС числа отслеживаемых спутников неоднозначность, как правило, разрешается с использованием переборных статистических методов. При невыполнении условия избыточности числа спутников и отсутствии информации о параметрах ориентации из-за невозможности выполнения режима НВ ИСНС вынужденно функционирует как в условиях информационной, так и измерительной недостаточности. Решением проблемы может стать применение метода вычисления параметров ориентации по интерферометрическим неоднозначным фазовым измерениям СНС и измерениям гироскопов [1]. В докладе представлены результаты экспериментальных исследований возможностей вычисления параметров ориентации в ИСНС, функционирующих в условиях информационно-измерительной недостаточности, с использованием указанного метода. Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 19-08-01223-а.

1. M.V. Zharkov, K.K. Veremeenko, D.A. Antonov, I.M. Kuznetsov Attitude Determination Using Ambiguous GNSS Phase Measurements and Absolute Angular Rate Measurements. Gyroscopy and Navigation, 2018, Vol.9, No.4.

2. M.V. Zharkov, K.K. Veremeenko, I.M. Kuznetsov, A.N. Pronkin Multiple antenna gyro-GNSS attitude determination system. IOP Conf.Series: Materials Science and Engineering 927 (2020) 012073.

Feasibility Investigation of Attitude Determination in Integrated Inertial-Satellite Navigation Systems in Information and Measurement Insufficiency Conditions

Zharkov M.V., Veremeenko K.K., Kuznetsov I.M., Pronkin A.N.
MAI, Moscow, Russia

Inertial-Satellite Navigation Systems (ISNS) [1,2] have become widespread due to such advantages as high accuracy, high level of integrity, the ability to minimize weight, dimensions, and cost. One of the operating modes of the ISNS is the alignment mode (AM), without the successful completion of which further operation of the system is impossible. The AM key task should be considered as the initial inertial sensors axes attitude determination relative to the base coordinate system. The solution to this problem takes from tens of seconds to tens of minutes depending on the conditions and accuracy requirements. At the same time in some applications, it becomes necessary to switch to the navigation mode as soon as possible even before the end of the

AM mode. In this regard, ISNS on the base of the single-antenna GNSS receiver operates in information insufficiency conditions forcedly. This problem does not occur in the case of the use of a multi-antenna receiver determining attitude. Attitude determination using the GNSS signal is possible if phase measurements integer ambiguity is successfully resolved only. If there is a sufficient and redundant (in comparison with the standard GNSS mode) number of tracked satellites, the ambiguity is usually resolved using statistical methods. If the condition of redundancy in the number of satellites is not met and there is no information about the attitude parameters due to the impossibility of performing the AM mode, the ISNS operates both in information and measurement insufficiency conditions forcedly. The solution to the problem can be the application of the method of attitude determination using ambiguous GNSS phase measurements and gyro measurements [1]. The paper presents the results of the feasibility experimental investigation of attitude determination in integrated inertial-satellite navigation systems operating in information and measurement insufficiency conditions.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 19-08-01223a.

1. M.V. Zharkov, K.K. Veremeenko, D.A. Antonov, I.M. Kuznetsov Attitude Determination Using Ambiguous GNSS Phase Measurements and Absolute Angular Rate Measurements. Gyroscopy and Navigation, 2018, Vol.9, No.4.

2. M.V. Zharkov, K.K. Veremeenko, I.M. Kuznetsov, A.N. Pronkin Multiple antenna gyro-GNSS attitude determination system. IOP Conf.Series: Materials Science and Engineering 927 (2020) 012073.

Выбор и исследование материалов для создания корпуса умного средства идентификации личности

Исаев В.В., Баранов В.Ю., Сокольский А.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Ежегодно огромное количество людей является участниками мероприятий различных направленностей. По окончании мероприятия все бейджи утрачивают свою актуальность и становятся непригодными для повторного использования. В связи с этим бейджи должны утилизироваться, однако зачастую материалы, из которых изготовлены бейджи, не могут быть переработаны и повторно использованы. Поэтому огромное количество пластиковых бейджей выбрасываются, не подвергаясь повторному использованию.

Поскольку некоторые виды пластика разлагаются длительное время, постоянное увеличение их концентрации в окружающей среде способно привести к глобальной экологической катастрофе.

Во избежание этого, было принято решение о создании концепции многоразового бейджа.

Основой бейджа является многоцветная электронная бумага (e-ink), способная отображать информацию, не требуя при этом элементов питания. Однако, низкие прочностные характеристики не позволяют использовать электронную бумагу без дополнительной защиты.

Для обеспечения защиты от внешних физических воздействий, а также для удобства эксплуатации устройства, необходимо изготовить корпус, обладающий следующими характеристиками: прочность, износостойкость, массогабаритные характеристики незначительно превышающие одноразовые бейджи, при этом минимизировать наносимый вред экологии.

В качестве материалов для корпуса бейджа были рассмотрены:

- Металл.
- Древесина.
- Стекло.
- Пластик.

Поскольку металл является дорогостоящим, древесина не экологична, стекло не обладает достаточной прочностью, а пластик не подвержен коррозии, гниению, прост и дешев в обработке, а также обладает достаточной прочностью и низкой стоимостью, в качестве материала для изготовления корпуса бейджа было решено использовать именно его.

Так как на сегодняшний день получили распространение множество различных видов пластика, для проведения эксперимента выбраны следующие виды: PLA, PET, ASA, ABS, SBS, PA66.

Для установления срока службы корпуса бейджа, принято решение о проведении ускоренных испытаний на: УФ излучение, повышенную/пониженную температуру и влажность, удар и вибрацию. Составлена методика и запланировано проведение испытаний на базе кафедры 307.

Во время принятия решения об использовании того или иного вида пластика, необходимо опираться не только на полученные данные в ходе проведения испытаний, но также отталкиваться от экологичности выбранных образцов.

Materials research for the development of the case of the smart identification device

Isaev V.V., Baranov V.Y., Sokolsky A.M.

MAI, Moscow, Russia

Every year, a huge number of people take part in various events. At the end of the event, all badges lose their relevance and become unusable. Because of this, badges must be disposed of, but often the materials from which the badges are made cannot be recycled or reused. Therefore, a huge amount of plastic badges are thrown away without being reused.

Since some types of plastics take a long time to decompose, a constant increase in their concentration in the environment can lead to a global environmental disaster.

To avoid this, it was decided to create the concept of a reusable badge.

The badge is based on multicolor electronic paper (e-ink), which can display information without requiring batteries. However, the low strength characteristics do not allow the use of electronic paper without additional protection.

To ensure protection from external physical influences, as well as for the convenience of operating the device, it is necessary to make a case with the following characteristics: strength, wear resistance, weight and size characteristics slightly exceeding disposable badges, while minimizing the harm to the environment.

The materials for the badge body were considered:

- Metal.
- Wood.
- Glass
- Plastic.

Since metal is expensive, wood is not environmentally friendly, glass does not have sufficient strength, and plastic is not susceptible to corrosion, decay, simple and cheap to process, and also has sufficient strength and low cost, it was decided to use it as a material for making the badge body.

Since today many different types of plastic have become widespread, the following types were chosen for the experiment: PLA, PET, ASA, ABS, SBS, PA66.

To establish the service life of the badge body, it was decided to conduct accelerated tests for: UV radiation, high / low temperature and humidity, shock and vibration. A methodology has been drawn up and tests are planned on the basis of the department 307.

When deciding on the use of one or another type of plastic, it is necessary to rely not only on the data obtained during the tests, but also to build on the environmental friendliness of the selected samples.

Влияние параметров проектирования и технологических процессов на вероятность появления дефектов на печатных платах

Исаев В.В., Коробков М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Определение влияния процесса травления на результат требует рассмотрения изменения геометрии проводников на печатной плате. Обычно в качестве фигуры, описывающей поперечное сечение проводника, используется прямоугольник, что нельзя сделать в данном контексте. Ввиду изотропности процесса травления по краям проводника появляются

чашевидные дефекты. Из-за сложности профиля поперечного сечения и зависимости последнего от установки, в которой происходит травление, предложено linearизовать края проводника, получив равнобековую трапецию. Определение оснований трапеции производится с учетом величины подтравливания, которая может быть определена для любого процесса травления. Поскольку в процессе производства плат раствор меняет свои свойства, в работе рассмотрены случаи получения перетравленных и недотравленных проводников.

На качество полученного после процесса травления проводника также оказывает влияние и предшествующий этап – экспонирование. Точность воспроизведения рисунка на этом этапе зависит от метода экспонирования и используемого фоторезиста. В работе рассмотрены контактное экспонирование с фотошаблоном, изготовленном на фотоплоттере, а также прямое лазерное сканирование с разными значениями адресуемости и размера пятна.

Разработанный математический аппарат позволяет найти вероятность получения бездефектной печатной платы в зависимости от параметров ее проектирования, а также характеристик технологических процессов. В качестве параметров проектирования рассматриваются ширина проводника, толщина медной фольги и величина зазора между проводниками, а в качестве параметров технологических процессов – фактор травления, коэффициент бокового подтравливания и разрешающая способность процесса экспонирования.

Полученную модель можно использовать в том числе для сравнительной оценки качества трассировки печатных плат, определив одинаковые параметры технологического процесса. Наиболее объективно сравнение печатных плат, созданных по одной и той же принципиальной схеме и на одной и той же элементной базе, так как в данном случае остается неизменным количество связей между компонентами, а последние, в свою очередь, будут оказывать одинаковое влияние на модель. Данная особенность модели может помочь проектировщику оценить качество трассировки при разработке печатной платы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSFF-2020-0015).

Influence of design parameters and technological processes on probability of defects on PCB

Isaev V.V., Korobkov M.A.
MAI, Moscow, Russia

Determining the influence of etching process on the result requires an investigation of changes in the geometry of the conductors on the printed circuit board. Typically, a rectangle is used as the figure describing the cross-section of the conductor, which cannot be done in this case. Due to the isotropy of the etching process, cup-shaped defects appear along the edges of the conductor. Due to the complexity of the cross-sectional profile and its dependence on the machine in which the etching occurs, it was proposed to linearize the edges of the conductor, obtaining an isosceles trapezoid. The determination of the bases of the trapezoid is made taking into account the amount of undercut etching value, which can be found for any etching process. Since the etching solution changes its properties during the production of boards, the work considers cases of obtaining overetched and underetched conductors.

The quality of the conductor is also influenced by the previous stage – exposure. The accuracy of the reproduction of pattern at this stage depends on the exposure method and the photoresist used. The paper considers contact exposure, as well as direct laser scanning with different values of addressability and spot size.

The developed mathematical model makes it possible to find the probability of obtaining a defect-free printed circuit board, depending on the parameters of its design and the characteristics of technological processes. The design parameters are the width of the conductor, the thickness of the copper foil and the size of the gap between the conductors. As parameters of the technological process – the etching factor, the lateral undercutting coefficient and the resolution of the exposure process.

The resulting model can be used, among other things, for a comparative rating of the printed circuit boards routing quality by defining the same parameters of the technological process. The most valid comparison of printed circuit boards created according to the same schematic diagram and on the same element base, because in this case the number of connections between components remains unchanged, and they will have the same effect per model. This feature of the model can help the designer evaluate the quality of the routing when designing a printed circuit board.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of Russia, topic number FSFF-2020-0015.

Оптимальное раскрытие спиц крупногабаритного трансформируемого рефлектора по иерархии критериев

Кабанов С.А., Кабанов Д.С.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Для двухстороннего обмена информацией между наземными передаточными пунктами и объектами ракетно-космической техники широко используются параболические антенны, которые находятся в собранном виде и разворачиваются на орбите в рабочее состояние при помощи специальных приводных элементов. Надежность этих систем зависит от геометрии конструкции, материалов, точности изготовления, трения в узлах сочленения ее элементов и нагрузок, действующих на конструкцию и ее составные части.

При раскрытии и настройке орбитального положения крупногабаритного рефлектора космического базирования возникают нежелательные колебания системы, ухудшающие качество управления. Такие колебания связаны с наличием элементов с малой жесткостью управляемого объекта. Основная проблема таких конструкций заключается в надёжном и плавном их раскрытии после выведения на орбиту. Для ее решения целесообразно применить алгоритмы оптимального управления, допускающие реализацию в темпе раскрытия.

В данной работе исследован процесс оптимального раскрытия спиц рефлектора. Предлагается алгоритм последовательной оптимизации по иерархии целевых функционалов, первый из которых характеризует плавность выхода на терминальные условия, второй – точность. Применение предлагаемого управления, при котором энергия для разворачивания элементов рефлектора производится за счёт приводов, в частности электрической машины, позволит управлять процессом раскрытия на всем интервале движения.

Представлены результаты численного моделирования. Приведено сравнение с траекториями, полученными с использованием других алгоритмов оптимального управления.

Optimal deployment of the spoke of a large-sized transformable reflector according to the hierarchy of criteria

Kabanov S.A., Kabanov D.S.

BSTU “VOENMEH” named after D.F. Ustinov, Saint Petersburg, Russia

Parameters of parabolic antennas are widely used for two-way exchange of information between ground receiving and transmitting points and objects of rocket and space technology. They are assembled and deployed in orbit to a working state using special drive elements. The reliability of these systems depends on the geometry of the structure, materials, manufacturing accuracy, friction at the joints of elements and the loads acting on the structure and its components.

When deploying and adjusting the orbital position of a large-sized space-based reflector, unwanted system oscillations occur that degrade the quality of control. Such oscillations are associated with the presence of elements with low stiffness of the controlled object. The main problem of such structures is their reliable and smooth deployment after to place in orbit. To solve it, it is advisable to apply optimal control algorithms that can be implemented at the rate of deployment.

In this paper, the process of optimal deploying of the reflector spokes is investigated. An algorithm for sequential optimization in the hierarchy of target functionals is proposed. The first of which characterizes the smoothness of reaching terminal conditions, the second is accuracy. The

application of the proposed control, in which the energy for the deployment of reflector elements is produced by the drives, in particular the electric machine, will allow controlling the deploying process over the entire range of motion.

The results of the numerical simulation are presented. A comparison is made with trajectories obtained using other optimal control algorithms.

Способы индикации пилотажно-навигационных параметров летчику и их оценка

Кадыльникова Е.Н., Желонкин В.И.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

В полёте по приборам основная сложность деятельности летчика заключается в совмещении ведения пространственной ориентировки и процесса пилотирования, т.е. выдерживания необходимых параметров полета.

Необходимая для пилотирования информация должна выдаваться летчику в наиболее понятной форме, обеспечивающей быстрое и правильное осмысление и однозначное реагирование. В настоящее время существует несколько способов представления пилотажно-навигационной информации летчику, на основе которой он осуществляет управление самолетом.

Для оценки способов индикации пилотажно-навигационных параметров была проведена сравнительная оценка информационных кадров с различными видами индикации авиагоризонта (прямой и обратный тип индикации) и указателей пилотажно-навигационных параметров (линейные и круглые шкалы) при выполнении нескольких режимов полёта с выдерживанием заданных параметров. Также была проведена оценка качества определения пространственного положения самолёта, приведения его к заданным параметрам крена и тангажа из вращения по крену и вывода самолёта из сложных пространственных положений в режим горизонтального полёта.

Результаты экспериментов показали, что при выполнении режимов полёта, в которых необходимо поддерживать заданные значения параметров, способ индикации авиагоризонта и шкал указателей не имеет большого влияния. При выполнении режимов с необходимостью одновременного контроля значения углов крена и тангажа, а также при выводе самолёта из сложных пространственных положений целесообразно использовать обратный вид индикации авиагоризонта для минимизации ошибок управления.

Methods of displaying flight and navigation parameters to the pilot and their evaluation

Kadilnikova E.N., Zhelonkin V.I.

TsAGI, Zhukovsky, Russia

In instrument flight the main difficulty for the pilot is to combine spatial orientation and the piloting process, i.e. holding flight parameters.

The information needed for the piloting process has to be easily understandable for the pilot and guarantee unmistakable response. Nowadays there are several methods of displaying flight and navigation information to the pilot which he uses for aircraft control.

A comparative study was carried out to evaluate the methods of displaying flight and navigation parameters of data frames with various types of attitude indicators and indicators scales when performing several flight modes with holding specified parameters. In addition, an evaluation of the quality of determining the spatial orientation of the aircraft, reduction it to the specified parameters of roll and pitch and unusual attitude recoveries was made.

The results showed that when performing flight modes in which it is necessary to maintain the specified parameter values the method of indicating the artificial horizon and indicators scales does not have much effect. When performing modes with the need to simultaneously control the values of the roll and pitch angles, as well with the unusual attitude recoveries, it is advisable to use the "inside-out" type of the attitude indicator to minimize control errors.

Формирование организационно-экономического механизма внедрения интегрированных информационных систем на предприятиях авиастроения

Калачанов В.Д., Ефимова Н.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время авиастроительное производство является одной из наиболее конкурентоспособных отраслей российской промышленности на мировом рынке. Для сохранения текущих и завоевания новых позиций требуется совершенствование механизмов управления предприятиями авиационной промышленности, разработка и внедрение новых информационных технологий, и повышение их экономической эффективности. В связи с этим необходимо разработать концепцию механизма внедрения и экономического обоснования выбора интегрированных информационных систем для авиастроительного производства.

Механизм выбора концепции внедрения интегрированных информационных систем для предприятий авиастроения в современных финансовых условиях направлен на решение следующих задач:

- Систематизация существующих подходов и методов экономического обоснования внедрения интегрированных информационных систем для предприятий;
- Совершенствование тендерного метода выбора базовой системы для внедрения интегрированных информационных систем для предприятий авиастроения с использованием метода экспертных оценок;
- Разработка системы показателей, на основе значений которых осуществляется выбор концепции внедрения интегрированных информационных систем для предприятий авиастроения;
- Разработка информационного обеспечения выбора концепции внедрения интегрированных информационных систем для предприятий авиастроения;
- Адаптация методов оценки экономической эффективности инвестиций в информационные технологии.

Анализ методов выбора концепции разработки интегрированных информационных систем, применяемых на практике в настоящее время показывает, что пробелы в этой области довольно значительны. Часть методов не содержит действенных механизмов экономической оценки эффективности разработки интегрированных информационных систем на предприятии. Часто в существующих методах нет эффективного механизма разделения систем на классы в соответствии с их возможностями. Многие методы основаны на нечетких, часто неизмеримых и трудно оцениваемых, показателях, на основе значений которых осуществляется выбор концепции разработки интегрированных информационных систем.

Наличие перечисленных выше недостатков обуславливает необходимость разработки новой концепции внедрения интегрированных информационных систем для предприятий авиастроения.

Formation of organizational and economic mechanism for implementation of integrated information systems at aircraft industry enterprises

Kalachanov V.D., Efimova N.S.

MAI, Moscow, Russia

Currently, aircraft manufacturing is one of the most competitive industries in the Russian industry on the world market. To maintain current and gain new positions, it is necessary to improve the management mechanisms of the aviation industry, the development and introduction of new information technologies, and increase their economic efficiency. In this regard, it is necessary to develop a concept for the implementation mechanism and economic justification for the selection of integrated information systems for aircraft manufacturing.

The mechanism for selecting the concept of implementing integrated information systems for aircraft enterprises in modern financial conditions is aimed at solving the following problems:

Systematizing existing approaches and methods of economic justification for the implementation of integrated information systems for enterprises;

- Improvement of tender method of selection of basic system for implementation of integrated information systems for aircraft industry enterprises using the method of expert assessments;
- Development of a system of indicators, on the basis of the values of which the concept of implementation of integrated information systems for aircraft enterprises is selected;
- Development of information support for selection of the concept of implementation of integrated information systems for aircraft enterprises;
- Adaptation of methods for assessing the cost-effectiveness of information technology investments.

An analysis of how the concept of integrated information systems is chosen, which is currently being applied, shows that the gaps in this area are quite significant. Some of the methods do not contain effective mechanisms for economic evaluation of the efficiency of development of integrated information systems in the enterprise. Often, existing methods do not have an effective mechanism for dividing systems into classes according to their capabilities. Many methods are based on fuzzy, often immeasurable and difficult to assess, indicators on the basis of the meanings of which the concept of developing integrated information systems is chosen.

The above shortcomings make it necessary to develop a new concept for the implementation of integrated information systems for aircraft enterprises.

Методы нейронных сетей при распознавании образов антропогенных объектов

¹Касатиков Н.Н., ¹Желанов С.А., ²Брехов О.М., ¹Токарев А.В.

¹НИИ ТП, ²МАИ, г. Москва, Россия

Частую для целей дистанционного зондирования земли и гражданских потребностей необходимо оперативно и качественно распознать нужные объекты, например, в случае наводнений, нужно как можно быстрее понять насколько сильно вода вышла из берегов. Только задав один объект это уже может сократить время для поиска людей и ускорить определение наиболее пострадавших регионов, для примера были взяты часто затопляемые регионы, например, река Енисей.

Для обнаружения антропогенных и созданных без участия человека образов лучше всего подходят методы нейронных сетей. В результате тренировок можно находить заданные объекты с высокой точностью. Это процесс трудный и занимает много времени, но очевидно, что нейронные сети становятся драйверами в этом вопросе.

Получив данные после обработки программы, мы на выходе видим другое изображение в форматах png, jpeg, tiff мы сравниваем, производим оценку нахождения объектов, выбранных программой. После получения данных что и, представив, что найдены все нужные изображения (или близкое к максимальному значению), то можно усовершенствовать программу разработав методы получения текстовых данных из полученных изображений.

Для начала нужно изучить и проанализировать прошлые и действующие версии работы. Можно получать, как данные в текстовом формате с табличкой в виде сведений о количестве объектов на изображении, а также получать изображение с координатами. В настоящий момент этим занимаются Qgis некоммерческая программа, которая находится в свободном доступе. Это программа позволяет использовать маску с географическими координатами. Для начальных этапов можно проанализировать их наработки и выразить наиболее важные вещи для написания метода.

Methods of neural networks for the recognition of anthropogenic features

¹Kasatikov N.N., ¹Jelanol S.A., ²Brekhov O.M., ¹Tokarev A.V.

¹NIITP, ²MAI, Moscow, Russia

Often for the purposes of remote sensing and civilian needs quickly and accurately identify desired objects, for example, in the case of flooding, you need to understand how much water overflowed. Just by setting one object, this can already reduce the time to search for people and

speed up the identification of the most affected regions. For example, we took frequently flooded regions, such as the Yenisei river.

Neural network methods are best suited for detecting anthropogenic and non-human images. As a result of training, you can find the specified objects with high accuracy. This is a difficult and time-consuming process, but it is obvious that neural networks are becoming drivers in this matter.

After receiving the data after processing the program, we see another image in png, jpeg, tiff formats. We compare and evaluate the location of objects selected by the program. After receiving the data that and, imagining that all the necessary images were found (or close to the maximum value), you can improve the program by developing methods for obtaining text data from the received images.

First, you need to study and analyze past and current versions of the work. You can get as data in text format with a table in the form of information about the number of objects in the image, as well as get an image with coordinates. Currently, this is done by Qgis, a non-commercial program that is freely available. This program allows you to use a mask with geographical coordinates. For the initial stages, you can analyze their achievements and Express the most important things for writing the method.

Подавление высокочастотных помех в опасных цепях беспилотных летательных аппаратов

Кириллов В.Ю., Торлупа А.А., Жуков П.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Высокочастотные помехи, наводимые внешнем направленным электромагнитным полем в электрических жгутах опасных цепей беспилотных летательных аппаратов, могут привести к потере управляемости и прекращению выполнения полетного задания. Традиционным способом защиты опасных цепей беспилотного летательного аппарата являются экранирование жгутов от излучаемых электромагнитных помех и применение низкочастотных фильтров для подавления высокочастотной части спектра наведенных кондуктивных помех. Эффективность подавления высокочастотных помех с помощью низкочастотных фильтров частот бывает не высокой из-за наличия локальных резонансных явлений в жгутах опасных цепей. Наличие собственных резонансов может приводить на ряде частот к изменениям амплитудного напряжения помехи до 20 дБ. В случае если частота внешнего электромагнитного поля совпадает с частотой локального резонанса опасной цепи амплитуда наведенной кондуктивной помехи может превысить предельно допустимое значение для безотказного функционирования бортовых систем беспилотного летательного аппарата. Для ослабления резонансных явлений в опасных цепях беспилотных летательных аппаратов и снижения уровней наведенных кондуктивных помех совместно с низкочастотными фильтрами целесообразно применять радиопоглощающие материалы. Проведенные исследования позволили сделать заключение о том, что применение радиопоглощающих материалов позволяет ослаблять резонансные явления и подавлять кондуктивные электромагнитные помехи в электрических жгутах опасных цепей. Резонансные напряжения могут быть ослаблены в 1,5-2 раза, эффективность подавления кондуктивных помех в опасных цепях дополнительно к эффективности фильтрации низкочастотных фильтров может дать 10-15 дБ. Данные результаты получены при исследовании экспериментального радиопоглощающего материала ПТМБ-1С.

Suppression of high frequency interference in dangerous circuits of unmanned aerial vehicles

Kirillov V. Yu., Torlupa A. A., Zhukov P. A.
MAI, Moscow, Russia

High-frequency interference induced by an external directional electromagnetic field in electrical harnesses of dangerous circuits of unmanned aerial vehicles can lead to loss of control and termination of the flight mission. Shielding the harness from radiated electromagnetic interference and the use of low-pass filters to suppress the high-frequency part of the conducted noise spectrum is the traditional way to protect dangerous circuits of an unmanned aerial vehicle. The

efficiency of suppression of high-frequency interference using low-frequency frequency filters is not high due to the presence of local resonance phenomena in the harnesses of hazardous circuits. The presence of natural resonances can lead to a number of frequencies to changes in the amplitude interference voltage of up to 20 dB. If the frequency of the external electromagnetic field coincides with the frequency of the local resonance of the dangerous circuit, the amplitude of the induced conducted interference may exceed the maximum permissible value for the trouble-free operation of the onboard systems of an unmanned aerial vehicle. To weaken resonance phenomena in dangerous circuits of unmanned aerial vehicles and to reduce the levels of induced conducted noise, it is advisable to use radio-absorbing materials together with low-frequency filters. The studies carried out made it possible to conclude that the use of radio-absorbing materials makes it possible to weaken resonance phenomena and suppress conductive electromagnetic interference in electrical harnesses of hazardous circuits. Resonant voltages can be attenuated by 1.5-2 times, the efficiency of suppression of conducted noise in hazardous circuits, in addition to the filtering efficiency of low-pass filters, can give 10-15 dB. These results were obtained in the study of the experimental radio-absorbing material TPMV-1S.

Анализ возможности реализации взаимосвязи параметров технологической системы и параметров качества изготавливаемой продукции с использованием аппарата искусственных нейронных сетей

Коваль Н.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Качество продукции, то есть совокупность ее свойств, определяется ее техническим совершенством, которое закладывается при проектировании и обеспечивается при производстве. Для обеспечения требуемого уровня качества разрабатываются соответствующие технологические системы, позволяющие произвести необходимую продукцию в соответствии с технической документацией [1].

Однако, в процессе производства возникает неопределенность при обеспечении качества, связанная с непостоянством параметров технологической системы. Оборудование изнашивается, физико-химические свойства сырья могут изменяться и т.д. Основной проблемой, источником неопределенности является неизвестное отношение между свойствами (параметрами качества) продукции и параметрами технологической системы.

Использование смоделированной связи состояния технологической системы с показателями качества продукции позволит преодолеть неопределенность при обеспечении заданного уровня качества за счет прогнозирования показателей качества и использовании результатов для выработки предупреждающих воздействий на технологическую систему. Помимо этого, становится возможным оптимальнее планировать производство, рационально выбирая технологическую систему под продукцию необходимого уровня качества.

Построение такой модели на основе физико-химических законов процессов, протекающих во время производства, затруднительно в виду сложности их природы – зачастую эти процессы не могут быть описаны системами формальных связей. Однако, определенные документацией процедуры контроля качества продукции и контроля параметров технологической системы постоянно накапливают данные о результатах контроля, содержащие значения параметров технологической системы и соответствующие значения показателей качества, которые можно использовать для построения нейросетевых моделей.

Основываясь на сказанном, в работе рассмотрены возможности и целесообразность моделирования технологических процессов для управления качеством продукции с помощью аппарата искусственных нейронных сетей, реализующего взаимосвязи параметров технологической системы и параметров качества изготавливаемой продукции.

Литература:

1. Падалко С.Н. Рекомендации для консалтинга в области информатизации организаций// Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 12. С. 267-270.

Analysis of possibility of realization of relation between technological system parameters and quality parameters of manufactured products using artificial neural network

Koval N.A.

MAI, Moscow, Russia

The quality of products, that is, the totality of its properties, is determined by its technical perfection, which is laid down in the design and provided in production. To ensure the required level of quality, the appropriate technological systems are developed, which allow to produce the necessary products in accordance with the technical documentation [1].

However, in the process of production there is uncertainty in quality assurance associated with the variability of parameters of technological system. The equipment wears out, the physical and chemical properties of raw materials can change, etc. The main problem, the source of uncertainty is an unknown relationship between the properties (quality parameters) of products and the parameters of the technological system.

The use of the simulated relation between the state of the technological system and the product quality parameters will allow to overcome the uncertainty while ensuring the specified level of quality by forecasting the quality parameters and using the results to develop preventive effects on the technological system. In addition, it becomes possible to better plan production, rationally choosing the technological system for the products of the required quality level.

Building such a model on the basis of the physical and chemical laws of processes occurring during production is difficult in view of the complexity of their nature – often these processes can not be described by systems of formal relations. However, defined by documentation procedures for product quality control and control parameters of the technological system constantly accumulates data on the results of the control, containing the values of the parameters of the technological system and the corresponding values of quality indicators, which can be used to build neural network models.

Based on the above mentioned, the paper considers the possibilities and expediency of modeling technological processes for product quality control with the help of artificial neural network, which implements the relationship of technological system parameters and quality parameters of manufactured products.

References:

1. Padalko S.N. Rekomendacii dlya consaltinga v oblasti informatizacii organisaciy//Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya. 2018. № 12. С. 267-270.

Использование технологий бизнес-аналитики в техническом снабжении авиационных предприятий

Кондрашов Ю.Н., Ракитина М.В., Таршина В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Главной задачей логистики на предприятии является оптимизация материальных потоков. Для автоматизации логистики предприятия используется ERP-система SAP [1]. Она хранит в себе и позволяет анализировать данные о деятельности предприятия, что позволяет добиться конкурентных преимуществ.

Для того чтобы обеспечить возможность анализа накопленных данных, применяется технология хранилищ DataWarehouse, которая позволяет создать интегрированную коллекцию данных, собранных из различных систем. Создание хранилища данных выполняется с использованием SQL Server Management Studio. Затем выполняется копирование данных при помощи службы интеграции SQL Server Integration Services (SSIS). Хранилище данных становится основой для построения OLAP-куба, многомерного массива данных, при помощи службы MS SQL Server Analysis Services (SSAS) и Visual Studio. SQL Server Management Studio предоставляет возможность обращаться к многомерным данным при помощи запросов на языке MDX. По умолчанию информация является многофакторной. Для ее анализа используются средства визуализации данных.

Основной целью работы является внедрение инструмента бизнес-аналитики Business Intelligence для получения отчетов, анализа данных и их визуализации, в том числе, с использованием различных веб-приложений [2, 3, 4].

В результате проведенной работы получен инструмент для анализа данных на основе MS Excel и Power BI Desktop, который поможет проанализировать показатели предприятия, даст представление о возможностях снижения расходов, поможет спрогнозировать проблемы и предотвратить их.

Литература:

1. Падалко С.Н. Рекомендации для консалтинга в области информатизации организаций // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 12. С. 267-270.

2. Гинзбург И.Б. Концепция построения распределенных систем информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники с использованием функционально насыщенных веб-клиентов // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №5. С. 159-161.

3. Гинзбург И.Б. Состав и архитектура взаимодействия модулей функционально насыщенного автономного веб-приложения для распределенных систем информационной поддержки различных этапов жизненного цикла аэрокосмической техники // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №6. С. 130-133.

4. Гинзбург И.Б. Отказоустойчивые веб-интерфейсы для геоинформационных систем с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 4. С. 72-75.

Business intelligence technologies' usage in the aviation enterprises' technical supply

Kondrashov Y.N., Rakitina M.V., Tarshina V.A.

MAI, Moscow, Russia

The main task of the enterprise logistics is the material flows optimization. To automate the enterprise logistics, SAP ERP system is used [1]. It stores and allows to analyze data about the activities of the enterprise, and that allows to achieve competitive advantages.

In order to provide the ability to analyze the accumulated data, the DataWarehouse storage technology is used, which allows to create an integrated collection of data gathered from various systems. The data warehouse is created using SQL Server Management Studio. The data is then copied using SQL Server Integration Services (SSIS). The data warehouse becomes the basis for OLAP cube building, a multidimensional data array, using MS SQL Server Analysis Services (SSAS) and Visual Studio. SQL Server Management Studio provides the ability to access multidimensional data using MDX queries. By default, the information is multifactorial. Data visualization tools are used for its analysis.

The main goal of the work is the implementation of the Business Intelligence tool for obtaining reports, analyzing data and visualizing them, including using various web applications [2, 3, 4].

As a result of the work carried out, a tool for data analysis based on MS Excel and Power BI Desktop was obtained, which will help to analyze the enterprise indicators, give an idea of reducing costs possibilities, help to predict problems and prevent them.

References:

1. Padalko S.N. Recommendations for consulting in the field of informatization of organizations // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2018. No. 12. pp. 267-270.

2. Ginzburg I.B. The concept of building distributed information support systems for the maintenance of aerospace technology using functionally rich web clients // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2014. No. 5. pp. 159-161.

3. Ginzburg I.B. Composition and architecture of interaction of modules of a functionally rich autonomous web application for distributed information support systems for various stages of the life cycle of aerospace technology // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2014. No. 6. pp. 130-133.

4. Ginzburg I.B. Fault-tolerant web interfaces for geoinformation systems using Earth remote sensing data // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2016. No. 4. pp. 72-75.

Методика определения параметров преобразователя линейных ускорений

Коробков К.А., Бусурин В.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Проектирование преобразователей линейных ускорений является актуальной задачей, например, при построении бесплатформенных инерциальных навигационных систем. Предлагаемая методика упрощает процесс проектирования микро-опто-электромеханического (МОЭМ) преобразователя линейных ускорений [1], рекомендуя готовые решения на основе требуемых характеристик преобразователя. Предлагаемая методика предполагает использование чувствительного элемента (ЧЭ) балочного типа.

На первом этапе определяется: требуется ли наличие компенсационных обратных связей, стабилизирующих положение ЧЭ. Далее происходит выбор типов возмущений, дестабилизирующих ЧЭ, влияние которых требуется минимизировать, например, сил, направленных вдоль основной оси чувствительности, или моментов кручения вокруг продольной оси ЧЭ. С их учетом формируются рекомендации по: количеству оптических модуляторов, детектирующих положение ЧЭ; типам обратных связей (ОС) (электростатическая [1], электромагнитная, комбинированная); количеству ОС; местам их расположения в корпусе.

На следующем этапе задаются статические параметры преобразователя, к которым относятся диапазон измеряемых ускорений и погрешность. По этим данным выбирается вид оптического модулятора, определяющий точность измерений, и конструктивные параметры ЧЭ, влияющие на чувствительность преобразователя. При этом предлагается выбирать интерферометрические модуляторы - для перемещений ЧЭ порядка единиц-десятков длин волн оптического излучения, и модуляторы на основе оптического туннельного эффекта [1] - для перемещений в пределах длины волны.

Затем, при наличии ОС, стабилизирующих ЧЭ, с учетом динамических параметров преобразователя: частоты входных ускорений и допустимого запаздывания; определяются параметры системы стабилизации ЧЭ: тип закона управления (пропорциональный, интегральный, дифференциальный или их сочетание) и коэффициенты регуляторов.

МОЭМ-преобразователи ускорения, спроектированные по предлагаемой методике, могут быть эффективно использованы в измерительных и управляющих системах авиационных и космических объектов.

Литература:

1. V.I. Busurin, K.A. Korobkov, L.A. Shleenkin, N.A. Makarenkova. Compensation Linear Acceleration Converter Based on Optical Tunneling. 2020 27th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS), Saint Petersburg, Russia, 2020, pp. 1 4, doi: 10.23919/ICINS43215.2020.9133810.

Methodology for determining parameters of linear acceleration transducer

Korobkov K.A., Busurin V.I.

MAI, Moscow, Russia

The design of linear acceleration transducers is an urgent task, for example, in the development of strapdown inertial navigation systems. The proposed methodology simplifies the design process of a microoptoelectromechanical (MOEM) linear acceleration transducer [1], recommending ready-made solutions based on the required characteristics of the transducer. The proposed methodology involves the use of a beam-type sensitive element (SE).

At the first stage, it is determined whether compensatory feedbacks are required to stabilize the SE position. Then, the types of disturbances destabilizing the SE are selected, the influence of which must be minimized, for example, forces directed along the main axis of sensitivity, or torsion moments around the longitudinal axis of the SE. Taking them into account, recommendations are formed on: the number of optical modulators that detect the SE position; types of feedbacks (FB) (electrostatic [1], electromagnetic, combined); the number of FB; their locations in the body.

At the next stage, the static parameters of the transducer are set, which include the range of measured accelerations and the error. Based on these data, the type of optical modulator is selected,

which determines the measurement accuracy, and the design parameters of the SE, which affect the sensitivity of the transducer. At the same time, it is proposed to choose interferometric modulators - for movements of the SE of the order of singles-tens of optical radiation wavelengths, and modulators based on the optical tunneling effect [1] - for movements within the wavelength.

Then, in the presence of FB that stabilize the SE, taking into account the dynamic parameters of the transducer: the frequency of the input accelerations and the permissible delay; the parameters of the SE stabilization system are determined: the type of control law (proportional, integral, differential, or their combination) and the coefficients of the regulators.

MOEM acceleration transducers designed according to the proposed method can be effectively used in measuring and control systems of aviation and space objects.

References:

1. V.I. Busurin, K.A. Korobkov, L.A. Shleenkin, N.A. Makarenkova. Compensation Linear Acceleration Converter Based on Optical Tunneling. 2020 27th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS), Saint Petersburg, Russia, 2020, pp. 1 4, doi: 10.23919/ICINS43215.2020.9133810.

Построение оптимального плана калибровки ГИБ на МЭМС датчиках

Крылов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

При калибровке партии однотипных гироинерциальных блоков или датчиков наиболее важными характеристиками являются общее время калибровки, а также достигаемая точность технических параметров, таких как дрейф нуля, погрешность масштабного коэффициента и других. В случае большой загруженности калибровочных стандов/операторов на производстве становится важным составить оптимальный калибровочный план, который позволил бы точнее откалибровать нужные характеристики и максимально эффективно использовать время, отводимое для калибровки.

При калибровке МЭМС-датчиков проявляются такие особенности, как зависимость параметров от температуры, их нестабильность от времени работы, от включения к включению, в процессе хранения. Так, в случае большого разброса значений дрейфа при разных температурах имеет смысл точнее дискретизировать температурный диапазон, а при большой нестабильности от включения к включению потратить время на достаточное количество одинаковых независимых испытаний. Так, например, в зависимости от технического задания или технических условий такой параметр, как “дрейф” может быть уточнен до “максимальный дрейф при любых условиях” или “средний дрейф при положительном температурном гистерезисе”. В общем случае, задача построения плана калибровки превращается в задачу многокритериальной оптимизации, доминирующими критериями в которой становятся время калибровки и какой-либо калибруемый параметр. Решением этой задачи является некоторое множество Парето, содержащее, к примеру, число повторений от включения к включению, а также частоту дискретизации по температурному диапазону.

Данная работа предлагает рассмотрение общей структуры оптимального калибровочного плана МЭМС-датчиков, а также применение этой структуры к частным задачам, таким, как оптимальная калибровка дрейфа для заданных требований и выбор оптимального количества испытаний для калибровочных параметров при известной максимальной ошибке координаты для заданных условий.

Drawing up the optimal plan for the calibration of the IMU based on MEMS sensors

Krylov A.A.

MAI, Moscow, Russia

During the calibration a batch of inertial measurement units or sensors of the same type, the most important characteristics are the total calibration time and the achieved accuracy of characteristics, such as zero drift, scale factor error, and others. In the case of a heavy workload of calibration stands / operators during the production, it becomes important to make an optimal calibration plan

that would allow to calibrate required characteristics more accurately and to use the calibration time more efficiently.

During the calibration of MEMS sensors, such features as the dependence of the parameters on temperature, their instability on the operating time, from switching on to switching on, during storage appear. So, in the case of a big dispersion of the drift values at different temperatures, it makes sense to discretize the temperature range more accurately, and in the case with a big instability from turn on to turn on, to allocate more time for a sufficient number of identical independent tests. So, for example, depending on the technical task or technical conditions, such a parameter as "drift" can be refined to "maximum drift under any conditions" or "average drift with a positive temperature hysteresis". In the general case, the problem of drawing up a calibration plan turns into a problem of multicriteria optimization, in which the dominant criteria are, as a rule, the time of calibration and some parameter to be calibrated. The solution to this problem is a certain Pareto set, containing, for example, the number of repetitions from turn on to turn on, as well as the sampling frequency over the temperature range.

This work proposes a consideration of the general structure of the optimal calibration plan for MEMS sensors, as well as the application of this structure to particular problems, such as the optimal drift calibration for given requirements and finding the optimal number of tests for calibration parameters with a known maximum coordinate error for given conditions.

Автоматизированный синтез эффективных конструкторских проектных решений РЭС

Кузнецов А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из методов сокращения затрат на проектирование и разработку новых изделий РЭС является использование модульного принципа построения систем, который позволяет широко применять заимствованные из других проектных решений модули высокой готовности (МВГ).

Покрытие составных частей изделия различными МВГ порождает множество допустимых альтернатив конструкции РЭС, которые можно рассматривать как комбинаторное пространство возможных вариантов конструкторских проектных решений. Поэтому перед разработчиком системы встает вопрос обоснованного выбора максимально эффективного варианта. Успешное решение поставленной задачи невозможно без автоматизации данного процесса, эффективность которой во многом зависит от качества математического обеспечения, создаваемых автоматизированных подсистем.

В данной работе рассматривается математическое обеспечение созданных подсистем проектирования, которое позволяет автоматизировать синтез эффективных конструкторских проектных решений РЭС. В едином цикле, включая следующие этапы:

- Формирование конструктивного базиса проектируемого изделия.
- Синтез множества допустимых вариантов конструкторских проектных решений изделия.
- Выбор по заданному критерию максимально эффективного варианта проектного решения.

Формирование конструктивного базиса осуществляется путем сравнения по заданным параметрам параметрических моделей составных частей и параметрических моделей МВГ.

Методика синтеза множества вариантов конструкторских проектных решений основана на применении комбинаторных методов, в частности, метода многодольных графов и метода полного перебора. Далее, по заданным ограничениям, осуществляется поэтапная оптимизация синтезированных проектных решений с целью определения подмножества допустимых решений.

Выбор максимально эффективного варианта проектного решения может проводиться как по одному критерию, например, по ресурсным или временным затратам на создание изделия, так и по комплексному критерию. В последнем случае используется метод, основанный на использовании нейронных сетей.

Программный комплекс, созданный на основе разработанных моделей, алгоритмов и методик, интегрируется в информационное пространство CAM/CAD/CAE-систем и позволяет автоматизировать синтез эффективных конструкторских проектных решений РЭС на ранних стадиях проектирования, что дает возможность снизить стоимостные и временные затраты на разработку изделия.

Automated synthesis of effective design structure of RES

Kuznetsov A.S.

MAI, Moscow, Russia

One of the methods to reduce costs of the design and development of new RES the using of the modular principle of creating systems, which allows the widespread use of high preparation modules borrowed from other design solutions.

The coverage of the component parts of the product with different high preparation modules generates many acceptable alternatives of the structure of RES, which can be considered as a combinatorial space of possible design solutions. Therefore, the system developer is faced with the question of a reasonable choice of the most effective structure. The successful solution of this problem needs in automation of this process, the effectiveness of which mainly depends on the quality of the mathematical support of created the automated subsystems.

In this paper, the mathematical support of created the automated subsystems is considered, which makes it possible to automate the synthesis of effective design solutions for RES in a combined cycle, including the following stages:

- Formation of the constructive basis of the designed structure of RES.
- Synthesis of a set of acceptable of the structure of RES.
- Selection, according to a given criterion, of the most effective structure of the RES.

The formation of the constructive basis is carried out by comparing the parametric models of the component parts and the parametric models of the corresponding high preparation modules according to the given parameters.

The technique of synthesizing the set of the structures of RES is based on the use of combinatorial methods, in particular, the multipartite graph method. Further, according to the restriction on parameters, stage-by-stage optimization of synthesized structure of RES is carried out in order to determine a subset of possible solutions.

The choice of the most effective variant of a structures of RES can be carried out both according to one criterion, for example cost or time creating a product, and according to a complex criterion. In the latter case, a method based on the using of neural networks is used.

The software complex, created on the basis of the developed models, algorithms and methods, is integrated into the information space of CAM/CAD/CAE systems and allows you to automate the synthesis of effective design structures of RES at the early stages of development, which makes it possible to reduce the cost and time design RES.

Оценка параметров временной синхронизации в задаче трансферной выставки

БИНС на подвижном основании

Кузнецов И.М., Веремеенко К.К., Жарков М.В., Пронькин А.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Методы трансферной выставки [1], относящиеся по классификации к выставке БИНС на подвижном основании, позволяют проводить выставку БИНС во время полёта, непосредственно перед запуском БЛА. Известно, что для грубой и быстрой выставки используются так называемые методы «one-shot», т.е. мгновенная передача НУ от БИНС или НК СН в БИНС БЛА. Получение более точных значений параметров НУ возможно при реализации комплексной обработки информации на базе оптимального фильтра Калмана (ОФК) от двух систем – БИНС/НК СН и БИНС БЛА.

В силу особенностей рассматриваемого способа трансферной выставки одной из ключевых задач является анализ возникающей вследствие передачи параметров от БИНС/НК СН в алгоритм ОФК [2] погрешности временной синхронизации этих параметров в условиях отсутствия аппаратной реализации последней. Такие погрешности могут иметь

как постоянный, так и переменный характер и по-разному проявляться не только в задаче начальной выставки трансферным методом, но и при комплексной обработке информации, поступающей от подсистем навигационного комплекса [3]. Влияние погрешности временной синхронизации, а также способ ее оценки является непосредственно предметом представляемого исследования. Математические модели БИНС рассматриваются на основе уравнений их ошибок, вектор состояния, включающий ошибки координат, проекций линейных скоростей, угловые погрешности ориентации измерительного трёхгранника относительного вычисленного, систематические компоненты погрешностей акселерометров и ДУС, расширен компонентой временного запаздывания, а вектор измерений включает разность соответствующих выходных параметров двух систем – БИНС/НК СН и БИНС БЛА. Проведено полноценное имитационное моделирование, получены оценки вектора состояния. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0015.

1. Липтон А. Выставка инерциальных систем на подвижном основании / А. Липтон; пер. с англ. Л.Г. Клибанова. – М.: Наука, 1971. – 167 с.

2. Antonov D.A., Veremeenko K.K., Zharkov M.V., Zimin R.Y., Kuznetsov I.M., Pron'kin A.N. Fault-tolerant integrated navigation system for an unmanned apparatus using computer vision / Journal of Computer and Systems Sciences International. 2020. Т. 59. № 2. Pp. 261-275.

3. Zharkov M.V., Veremeenko K.K., Antonov D.A., Kuznetsov I.M. Attitude determination using ambiguous GNSS phase measurements and absolute angular rate measurements / Gyroscopy and Navigation. 2018. Т. 9. № 4. Pp. 277-286.

Moving object SINS transfer alignment time synchronization parameters estimation

Kuznetsov I.M., Veremeenko K.K., Zharkov M.V., Pronkin A.N.

MAI, Moscow, Russia

Transfer alignment techniques [1] allow performing the SINS alignment during the flight, before launching the UAV. It is known that for rough and fast alignment, so-called "one-shot" techniques are used, that is the instantaneous transfer of SINS initial state from the carrier aircraft to UAV SINS. Obtaining more accurate values of SINS initial state is possible when implementing complex information processing (CIP) based on the optimal Kalman filter (OKF) from two systems – carrier aircraft SINS or its navigation system and UAV SINS.

One of the key tasks was to analyze the error in time synchronization of these parameters arising from the transfer of parameters from the carrier aircraft SINS or its navigation system to the OKF algorithm [2] in the absence of syncing hardware implementation. Such errors can be both constant and variable in nature and manifest themselves in different ways not only in the problem of alignment using the transfer technique but also in the CIP received from subsystems of the navigation system [3]. The influence of the time synchronization error, as well as the technique of its estimation, is directly the subject of this study. SINS mathematical models are considered on the basis of error equations, the state vector, including errors of coordinates, linear velocities projections, attitude angular errors of the measuring coordinate system relative to the calculated one, accelerometers and gyro systematic errors components are extended by the time delay component, and the measurement vector includes the difference of the corresponding output parameters of two systems – carrier aircraft SINS or its navigation system and UAV SINS. A simulation was performed, and state vector estimates were obtained.

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FSFF-2020-0015)

1. Arthur H. Lipton. Alignment of inertial systems of a moving base – M.: Nauka, 1971. – 167 p.

2. Antonov D.A., Veremeenko K.K., Zharkov M.V., Zimin R.Y., Kuznetsov I.M., Pron'kin A.N. Fault-tolerant integrated navigation system for an unmanned apparatus using computer vision / Journal of Computer and Systems Sciences International. 2020. Т. 59. № 2. Pp. 261-275.

3. Zharkov M.V., Veremeenko K.K., Antonov D.A., Kuznetsov I.M. Attitude determination using ambiguous GNSS phase measurements and absolute angular rate measurements / Gyroscopy and Navigation. 2018. Т. 9. № 4. Pp. 277-286.

Разработка математической модели конвертоплана

Лельков К.С., Сурков Д.А., Ульянов Д.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В последние годы во всём мире наблюдается рост интереса к разработкам электрических летательных аппаратов с целью применения в городской среде. В связи с этим формируется и дополняется концепция городских систем аэромобильности [1] для применения малогабаритных летательных аппаратов, в частности, для перевозки пассажиров и грузов, а также для уменьшения времени реагирования городских аварийных служб. Ключевыми проблемами при создании городских систем аэромобильности являются обеспечение доступности и автономности летательных аппаратов (ЛА). Доступность характеризует возможность и удобство использования ЛА в городской среде, что, в частности, означает обеспечение низкого уровня шума при перемещении ЛА в жилых областях, а также обеспечение вертикального взлёта и посадки. Автономность определяет возможность бортовой системы управления осуществлять перемещение ЛА по заданной пространственно-временной траектории (автопилот), а также реагировать на динамические изменения окружающей среды (появление препятствий, изменение погоды).

На кафедре 305 МАИ совместно с отделом автоматизации эксперимента (ОАЭ) и ЦАГИ проводятся исследования, направленные на создание малогабаритного беспилотного летательного аппарата (БЛА) с целью применения его в качестве воздушного такси на территории Российской Федерации. Аппарат выполнен по схеме «конвертоплан», что обеспечивает ему возможность совершать вертикальный взлёт и посадку. В то же время перемещение конвертоплана по маршруту осуществляется в самолётном режиме, что обеспечивает низкий уровень шума при движении БЛА в городской среде.

Разработанная математическая модель конвертоплана описывает динамику собственно БЛА [2], а также динамику окружающей среды, в частности, порывы ветра. Исследование аэродинамических характеристик БЛА проводилось методом виртуальных продувок. Приведенные результаты моделирования движения конвертоплана в различных режимах работы с использованием результатов виртуальных продувок подтверждают адекватность разработанной математической модели конвертоплана.

1. Silva, Christopher & Johnson, Wayne & Solis, Eduardo & Patterson, Michael & Antcliff, Kevin. (2018). VTOL Urban Air Mobility Concept Vehicles for Technology Development. 10.2514/6.2018-3847.

2. Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полёта. Траектории летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1969. – 146 с.

Development of the mathematical model for tiltrotor aircraft

Lelkov K.S., Surkov D.A., Ulyanov D.V.

MAI, Moscow, Russia

In recent years, there has been an increase in interest worldwide in the development of electric aircraft for use in urban environments. In this regard, the concept of urban air mobility systems is being formed and supplemented for the use of small-sized aircraft, in particular, for the transportation of passengers and cargo, as well as for reducing the response time for urban emergency services. The key problems in the creation of urban air mobility systems are ensuring the availability and autonomy of aircraft. Accessibility characterizes the possibility and convenience of using an aircraft in an urban environment, which, in particular, means ensuring a low noise level when moving an aircraft in residential areas, as well as ensuring vertical takeoff and landing. Autonomy determines the ability of the on-board control system to move the aircraft along a given space-time trajectory (autopilot), as well as respond to dynamic changes in the environment (the appearance of obstacles, changes in the weather).

At the department 305 MAI, together with the department of automation of the experiment and TsAGI, research is being carried out aimed at creating a small-sized unmanned aircraft (UAV) with the aim of using it as an air taxi on the territory of the Russian Federation. The device is made according to the "tiltrotor" scheme, which provides it with the ability to perform vertical takeoff

and landing. At the same time, the movement of the tiltrotor along the route is carried out in an airplane mode, which ensures a low noise level when an aircraft moves in an urban environment.

The developed mathematical model of the tiltrotor aircraft describes the dynamics of the aircraft itself, as well as the dynamics of the environment, in particular, wind gusts. The study of the aerodynamic characteristics of the aircraft was carried out by the method of virtual simulation. The presented results of modelling the motion of the tiltrotor in various operating modes using the results of virtual simulations confirm the adequacy of the developed mathematical model of the tiltrotor aircraft.

Исследование системы прогноза положения пробы прецизионного бесконтактного сканирующего профилометра на основе метода оптического считывания

Лю Чжэ, Бусурин В.И., Шлеенкин Л.А.

МАИ, г. Москва, Россия

При сканировании бесконтактным профилометром объекта, возникает большая вероятность механического контакта оптического преобразователя приближения (ОПП) с поверхностью тела ввиду малого значения зазора. Для прогнозирования положения измерительного зонда ОПП над поверхностью тела в процессе сканирования применяется оптический узел считывания. Система включает два канала определения расстояния до поверхности. Первый канал использует ОТЭ, обеспечивающий прецизионное измерение высот в диапазоне сотен нанометров («точное» измерение). Второй канал использует преобразователь перемещения на основе хроматической аберрации (ППХА), работающий в диапазоне сотен микрометров, с помощью которого получают упреждающую оценку за счет измерения зазоров в направлении движения с невысокой точностью («грубое» измерение).

Чтобы избежать механического контакта между зондом ОПП и сканируемым телом, перед движением профилометра вдоль поверхности необходимо спрогнозировать величину зазора в следующей точке и поднять или опустить узел сканирования с помощью линейного пьезоэлектрического двигателя. Если минимальное значение прогнозируемого зазора составляет менее 102 нм (эта величина равна суммарной погрешности всех датчиков), то возникает высокая вероятность механического контакта между ОПП и сканируемым телом. В процессе сканирования ППХА измеряет величину зазора с точностью ± 100 нм на шаге сканирования и записывает это значение в блок обработки. Получаем «грубое» значение высоты поверхности тела, максимальная погрешность которой составляет 102 нм. Когда датчик ОПП будет находиться в этой же точке сканирования, то получаем «точное» значение высоты поверхности тела. Назначаем желаемое значение прогноза перепада высот между «грубым» и «точным» значениями высот, равным 160 нм для обеспечения высокой чувствительности ОПП. В этом случае также исключается механический контакт между ОПП и сканируемой поверхностью. Если прогнозное значение перепада высот в точке сканирования не превышает 160 нм, то подается сигнал на перемещение в следующую точку. Если прогнозное значение перепада высот превышает установленный порог в 160 нм, то следящая система поднимает блок датчиков, при которой новое значение прогнозного значения перепада высот не превысит 160 нм. После этого подается сигнал на перемещение профилометра в следующую точку. Моделирование в среде Simulink, показало, что система успешно прогнозирует и компенсирует разности высоты поверхности.

Investigation of the system for predicting the position of the sample of a precision non-contact scanning profilometer based on the optical reading method

Liu Zhe, Busurin V.I., Shleenkin L.A.

MAI, Moscow, Russia

When scanning an object with a contactless profilometer, with a high probability of mechanical contact of the optical proximity transducer (OPT) with the body surface due to the small value of the gap. An optical readout unit is used to predict the position of the OPT measuring probe above the body surface during scanning. The system includes two channels for determining the distance to the surface. The first channel uses the OTE, which provides the precision measurement of heights in the range of hundreds of nanometers ("accurate"). The second channel uses PPHA operating in

the range of hundreds of micrometers, with which a predictive estimate is obtained by measuring the gaps in the direction of travel with low accuracy ("rough").

To avoid mechanical contact between the probe and the scanned body, before moving the profilometer along the OX axis, must predict the size of the gap at the next point and raise or lower the scanning unit using a linear motor. If the minimum value of the predicted gap less than the total error of all sensors, then there is a high probability of mechanical contact between the OPT and the scanned body. In the course of scanning, PPHA measures the gap size with an accuracy of ± 100 nm and writes this value to the processing unit. Subtracting the value of the PPHA gap from the signal, obtain a "rough" value for the height of the body surface, the maximum error of which is 102 nm. Convert it into an electrical signal. When OPT at the scan point, subtracting the OPT gap value from the signal, get the "accurate" value of the body surface height, and convert it into an electrical signal. We assign the minimum value of the forecast of the height difference between the "rough" and "exact" values of heights, equal to 160 nm. In this case, mechanical contact between the OPT and the scanned surface is excluded. If the predicted value of the elevation difference at the scanning point does not exceed 160 nm, then a signal is sent to move to the next point. If the predicted value of the elevation difference exceeds the set threshold of 160nm, then the tracking system raises the sensor unit, at which the new value of the predicted value of the elevation difference does not exceed 160 nm. A signal is given to move the profilometer to the next point. Simulation in the Simulink environment showed that the system successfully predicts and compensates for surface height differences.

Алгоритм избежания помех путем смены канала отдельными узлами древовидной беспроводной сенсорной сети

Макашов А.А., Терентьев М.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе рассматривается дополнение к механизму восстановления беспроводных сенсорных сетей (БСС), позволяющее отдельным узлам сети менять канал, на котором они работают для обеспечения устойчивости к помехам, работающим на одном канале или небольшом количестве смежных.

Принципы предлагаемого алгоритма:

- Алгоритм дополняет систему восстановления, основанную на механизме keep-alive [1];
- Узлы имеют определённый одинаковый список каналов, доступных для перехода;
- Узел принимает сообщения на одном канале (далее – канал приёма данных), переход на другие каналы осуществляется только для передачи данных при необходимости или при смене канала приёма данных.

Алгоритм работы не подключенных к сети узлов:

1. Узел переходит на первый канал из списка (который становится каналом приёма данных).
2. Узел ожидает приглашения на подключение к сети на текущем канале в течение периода времени T_w . По истечении T_w сменить канал приёма данных на следующий из списка и обнулить T_w . Если узел принимает сообщение с приглашением на подключение, то переход к п.3.
3. Узел отправляет ответ на приглашение, указывая при этом свой канал приёма данных. Приглашения от любых других узлов игнорируются. Таймер T_w сбрасывается.
4. Узел ожидает данные для подключения от пригласившего узла. Если эти данные получены, переход к п.5. Если данные не получены в течение периода времени T_c , узел сбрасывает подключение, удаляя информацию о пригласившем узле, возобновляя приём приглашений на подключение и запуская таймер T_w . Далее переход к п.2.
5. Узел подключается к сети, используя данные от пригласившего узла.

Алгоритм работы подключенных к сети узлов.

1. Узел находится на канале приёма данных.
2. Узел отправляет приглашения на подключение к сети по очереди на каждый канал из списка один раз за период T_i . В сообщении передаёт номер своего канала.

3. Если узел принимает ответ на приглашение, он передаёт данные для подключения к сети, сохраняя информацию о канале ответившего узла.

Таким образом, данный алгоритм позволяет обходить помехи, переводя часть узлов сети на другие каналы.

Список литературы.

1. Makashov A., The network layer model of the wireless sensor network acting under the influence of interferences, 2019 3rd School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics (DCNAIR).

2. Падалко С.Н., Смирнов О.Л., Терентьев М.Н. Метод самоорганизации дискретной беспроводной сети с двумя активными фазами // Электросвязь. 2017. №9. с. 54-60.

Algorithm for avoiding interference by changing the channel by particular nodes of the wireless sensor network with tree topology

Makashov A.A., Terentev M.N.

MAI, Moscow, Russia

In this paper, an addition to the wireless sensor networks (WSN) recovery mechanism is considered, which allows individual network nodes to change the channel on which they operate to ensure immunity to interference operating on one channel.

Principles of the proposed algorithm:

- The algorithm complements the recovery system based on the keep-alive mechanism [1];
- Nodes have a certain identical list of channels available for transition;
- The node receives messages on one channel (hereinafter - the channel for receiving data), the transition to other channels is carried out only for data transmission if necessary.

Algorithm of nodes not connected to the network:

1. The node switches to the first channel from the list (which becomes the receive channel).
2. The node waits for an invitation to join the network on the current channel for a period of time T_w . After T_w has elapsed, change the receive channel to the next one from the list and reset T_w to zero. If the node accepts a message with an invitation to connect, then go to step 3.
3. The node sends a response to the invitation, indicating its channel for receiving data. Invitations from any other nodes are ignored. The T_w timer is reset.
4. The node is waiting for connection data from the inviting node. If this message is received, go to step 5. If no data is received within the T_c time period, the node drops the connection, resuming connection invitations, and starting the T_w timer. Next, go to step 2.
5. The host connects to the network using data from the inviting host.

Algorithm of work of nodes connected to the network.

1. The node is on the receive data channel.
2. The node sends invitations to connect to the network in turn on each channel from the list once during the period T_i . In the message, it transmits the number of its channel.
3. If the node accepts the response to the invitation, it transmits data to connect to the network, preserving the channel information of the responding node.

Thus, this algorithm allows to bypass interference by transferring some of the network nodes to other channels.

Bibliography.

1. Makashov A., The network layer model of the wireless sensor network acting under the influence of interferences, 2019 3rd School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics.

2. Padalko S.N., Smirnov O.L., Terentyev M.N. Method of self-organization of a discrete wireless network with two active phases // Electrosvyaz. 2017. No. 9. from. 54-60.

Разработка системы определения рационального варианта автоматизации объекта управления

Макурин М.М., Нилов А.Н.
РКС, г. Москва, Россия

Начальным этапом создания любой АСУ является информационное обследование органов управления, результатом которого является перечень задач, рекомендуемых должностными лицами для решения с использованием комплексов средств автоматизации. Как правило, подобный перечень включает не менее нескольких сотен задач. Разработка СПО в объеме необходимом для реализации такого количества задач практически невозможна в связи с существующими ограничениями финансового, ресурсного и временного характера.

В связи с этим возникает потребность в разработке методических и программных средств определения перечня и последовательности автоматизации функциональных задач управления, обеспечивающих максимальное повышение эффективности управления при существующих ограничениях.

Особое внимание при создании данных средств следует уделить определению рациональной очередности разработки комплексов СПО.

Для определения очередности автоматизации в соответствии с предлагаемым подходом задачи, разбиваются на классы в зависимости от их информационных взаимосвязей. К первому классу задач относятся все те задачи, которые не используют в качестве исходных данных результаты решения других задач.

К второму классу относятся задачи управления использующие результаты решения задач первого класса и первичную информацию и т.д.

После разбиения задач на классы определяется порядок автоматизации задач внутри классов в соответствии с оценками влияния их автоматизации на эффективность процесса управления.

Разработанный подход к оценке эффективности в отличие от традиционных учитывает такой важный фактор, влияющий на эффективность, как глубина автоматизации, определяемый как отношение общего объема задач, который должен быть автоматизирован к общему объему задач необходимому для реализации функций управления в полном объеме. Кроме того, вместо прямого использования при расчетах показателя сокращения времени решения задач предлагается применять значения этого показателя нормированного с учетом показателя критичности задачи к требованиям по оперативности ее решения.

Показатель эффективности предлагается определять, как произведение показателей глубины автоматизации, повышения оперативности и экономического эффекта.

Ранжирование подлежащих автоматизации задач на основе минимизации информационной избыточности и анализа ожидаемой эффективности позволяют в процессе проектирования АСУ формировать перспективные и текущие планы создания СПО, учитывающие существующие ограничения на его разработку.

Development of a system for the rational use of the control object

Makurin M.M., Nilov A.N.
RSS, Moscow, Russia

The initial stage in the creation of any ACS is an information survey of control bodies, the result of which is a list of tasks recommended by officials for solving using complexes of automation tools. As a rule, such a list includes at least several hundred tasks. The development of open source software to the extent necessary for the implementation of such a number of tasks is practically impossible due to the existing financial, resource and time constraints.

In this regard, a need arises for the development of methodological and software tools for determining the list and sequence of automation of functional control tasks, which ensure the maximum increase in control efficiency under existing constraints.

When creating these tools, special attention should be paid to determining the rational order of development of open source software complexes.

To determine the order of automation in accordance with the proposed approach, tasks are divided into classes depending on their information relationships. The first class of problems includes all those problems that do not use the results of solving other problems as input data.

The second class includes control problems using the results of solving problems of the first class and primary information, etc.

After dividing tasks into classes, the order of automation of tasks within classes is determined in accordance with estimates of the impact of their automation on the efficiency of the control process.

The developed approach to assessing efficiency, in contrast to traditional ones, takes into account such an important factor affecting efficiency as the depth of automation, defined as the ratio of the total volume of tasks that must be automated to the total volume of tasks required to implement control functions in full. In addition, instead of direct use in calculating the indicator of reducing the time for solving problems, it is proposed to use the values of this indicator normalized taking into account the criticality indicator of the problem to the requirements for the efficiency of its solution.

The efficiency indicator is proposed to be defined as the product of indicators of the depth of automation, increased efficiency and economic effect.

Анализ путей уменьшения вычислительных затрат на идентификацию сущностей предметной области на основе частотного анализа данных

Мальшаков Г.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В статье изложены результаты исследования качества идентификации сущностей предметной области на основе частотного анализа данных при искажении алфавита поиска для ускорения процесса идентификации.

Показаны зависимости количества правильно распознанных сущностей предметной области от изменения объема анализируемых данных, используемого минимально-допустимого количества символов в лексемах алфавита, степени покрытия алфавита объектов сущности.

Исследованы благоприятная и неблагоприятная стратегии исключения из алфавита лексем на качество идентификации сущностей предметной области на основе частотного анализа данных.

Как показали исследования качество идентификации сущности на основе частотного анализа данных зависит от степени вхождения лексем алфавита в объекты сущности предметной области, поэтому его необходимо брать по возможности максимальным. Качество идентификации сущности предметной области на основе частотного анализа данных зависит от индивидуальных особенностей объектов сущностей предметной области: для некоторых объектов возможна правильная идентификация при выборке < 20%, для некоторых – невозможна, и необходим объем не меньшей 86 - 100% от эталонных данных.

Условием достоверной оценки принадлежности данных к поисковой сущности на основе их частотного анализа является их минимальный объем от эталонных данных, по которым создавался алфавит поискового поля сущности.

При неблагоприятном исключении объектов сущности корректная идентификация возможна начиная с 20%. При благоприятном для некоторых сущностей она возможна только при 100% выборке. Для каждой сущности минимальный объем выборки с которой начинается корректная идентификация свой: для БТИЗ он составляет 30%.

Несмотря на ошибки идентификации сущности предметной области на основе частотного анализа данных метод в целом облегчает синтез информационной модели прикладного ПО, упрощая работу оператору, повышая тем самым интероперабельность.

Полученные результаты имеют практическое значение для повышения качества идентификации сущностей прикладного ПО, выполняемой на основе частотного анализа данных.

Analysis of Ways to Reduce Computational Costs for Identifying Domain Entities Based on Frequency Data Analysis

Malshakov G.V.

MAI, Moscow, Russia

The article presents the results of a study of the quality of identification of domain entities based on frequency data analysis with distorted search alphabet to speed up the identification process.

The dependences of the number of correctly recognized entities of the subject area on the change in the volume of analyzed data, the used minimum allowable number of characters in the alphabet lexemes, the degree of coverage of the alphabet of entity objects are shown.

Favorable and unfavorable strategies for excluding tokens from the alphabet on the quality of identification of domain entities based on frequency data analysis are investigated.

As studies have shown, the quality of entity identification based on frequency analysis of data depends on the degree of occurrence of alphabet lexemes in entity objects of the subject area, therefore it should be taken as maximum as possible. The quality of identifying the entity of the subject area based on the frequency analysis of data depends on the individual characteristics of entity entities in the subject area: for some objects, correct identification is possible with a sample <20%, for some it is impossible, and a volume of at least 86 - 100% of the reference data is required.

The condition for a reliable assessment of data belonging to a search entity based on their frequency analysis is their minimum volume from the reference data, which was used to create the alphabet of the entity search field.

With an unfavorable exclusion of entity objects, correct identification is possible starting from 20%. If it is favorable for some entities, it is possible only with a 100% sample. For each entity, the minimum sample size from which the correct identification begins is different: for IGBT it is 30%.

Despite the errors in identifying the entity of the subject area based on the frequency analysis of data, the method as a whole facilitates the synthesis of the information model of the applied software, simplifying the work of the operator, thereby increasing interoperability.

The results obtained are of practical importance for improving the quality of identification of applied software entities based on frequency data analysis.

Область применения экспертных систем в системах менеджмента качества

Мандраков Е.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Экспертные системы (ЭС) на базе искусственного интеллекта, призваны справляться с рядом задач, которые обычно решают специалисты эксперты, в конкретной области. Такие системы применяются во множестве направлений, где присутствует: аналитика, планирование, контроль, управление и обучение. Перечисленные виды деятельности присутствуют и в системах менеджмента качества (СМК), что говорит о возможности применения ЭС.

Система менеджмента качества – часть менеджмента организации, которая отвечает за деятельность организации в области качества. СМК осуществляет контроль и управление всеми процессами, влияющими на качество конечного продукта или услуги. Для достижения требуемого уровня качества, СМК стремится к применению различных, современных информационных технологий, которые влекут к улучшению детальности организации.

Экспертная система состоит из следующих основных элементов (подсистем): база знаний, решатель, пользовательский интерфейс. База знаний представляет из себя систематизированную библиотеку, в которой хранятся знания по разным категориям, с их взаимосвязями. Основная функция, это хранение и накопление достоверных знаний и информации, чтобы использовать их при работе системы. Если база знаний — это память, то решатель, это мыслительная способность, в самом простом виде это алгоритм, который просматривает базу знаний в соответствии с пользовательским запросом, и на основе заложенных в него правил находит или выстраивает необходимый ответ. Пользовательский интерфейс, это средства коммуникации экспертной системы с пользователем, с его помощью

специалист общается с системой, отправляет запрос и получает ответ или же осуществляет поиск по базе знаний.

Вся применимость ЭС будет строиться во круг баз знаний, созданных для нее. Если брать специфичную для СМК деятельность, то это будет: управление несоответствующими результатами процессов (несоответствиями), аудит и др. В случае для управления несоответствиями в базе знаний будет содержаться информация возможных несоответствиях и способов работы с ними. К примеру, на этапе контроля качества готовой продукции, специалист может занести параметры изделия в систему, с вопросом «можно ли считать это несоответствием». На основе баз знаний система сопоставит полученные значения с требуемыми, и предложит один или несколько сценариев решения, к примеру, сославшись на случай, когда подобные характеристики, хоть они и были не совсем в пределах нормы, были вполне допустимыми.

Scope of expert systems in the quality system

Mandrakov E.S.

MAI, Moscow, Russia

Expert systems (ES) based on artificial intelligence are designed to cope with a number of tasks that are usually solved by experts in a specific field. Such systems are used in many areas where they are present: analytics, planning, control, management and training. The listed activities are also present in quality management systems (QMS), which indicates the possibility of using ES.

A quality management system is the part of an organization's management that is responsible for the organization's quality activities. QMS exercises control and management of all processes affecting the quality of the final product or service.

The expert system consists of the following main elements (subsystems): knowledge base, solver, user interface. The knowledge base is a systematic library that stores knowledge in different categories, with their relationships. The main function is the storage and accumulation of reliable knowledge and information in order to use them in the operation of the system. If a knowledge base is memory, then a solver is a thinking ability, in its simplest form it is an algorithm that scans the knowledge base in accordance with a user request, and, based on the rules laid down in it, finds or builds the required answer. The user interface is the means of communication of the expert system with the user, with its help the specialist communicates with the system, sends a request and receives a response, or searches through the knowledge base.

All the applicability of the ES will be built around the knowledge bases created for it. If we take an activity specific to the QMS, then it will be: management of nonconforming process results (nonconformities), audit, etc. In the case of nonconformity management, the knowledge base will contain information on possible nonconformities and ways of working with them. For example, at the stage of quality control of the finished product, a specialist can enter the parameters of the product into the system, with the question "can this be considered a discrepancy." Based on the knowledge bases, the system will compare the obtained values with the required ones, and will offer one or several solution scenarios, for example, referring to the case when such characteristics, although they were not entirely within the normal range, were quite acceptable.

Формирование траекторного управления летательным аппаратом на участке снижения

¹Маркелов В.В., ²Шукалов А.В., ⁴Костишин М.О., ³Жаринов О.О.

¹ИТМО, ²ОКБ «Электроавтоматика», ³ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия

Рассматривается алгоритм формирования траекторного управления. Контур управления обеспечивает выдерживание заданного времени прибытия в точки пути, включая начальную точку захода на посадку

Алгоритм строится на основе модели полета летательного аппарата по маршруту. Алгоритм реализуется в составе программного обеспечения бортового пилотажно-навигационного комплекса.

Моделирование осуществляется путем интегрирования уравнений динамики полета. Зависимость переменных состояния от времени определяется математическими моделями

атмосферы, аэродинамики, двигательной установки и бортовой системы управления полетом.

Исходными данными для моделирования полета по траектории снижения являются: заданная схема траектории в горизонтальной плоскости, текущие пилотажно-навигационные параметры, аэродинамические характеристики летательного аппарата и характеристики двигательной установки.

Управляющими переменными являются: угол наклона траектории и истинная воздушная скорость. Сигналами управления являются: вертикальная перегрузка и продольная перегрузка.

Определение значений переменных управления осуществляется выбором значения приборной или истинной скорости на этапе снижения. Условием выбора скорости является обеспечение прибытия в точку пути в заданное время. Принимается ряд граничных условий, накладываемых на рассматриваемый участок полета. Выбор значения скорости осуществляется непрерывно методом итераций.

В зависимости от граничных условий осуществляется расчет временного окна прибытия в точку пути. Окно прибытия позволяет оценить достижимость выдерживания заданного временного графика.

Приведены результаты оценки представленного алгоритма формирования траекторного управления. Приведены рекомендации по использованию алгоритма в бортовых комплексах летательных аппаратов для решения задач четырехмерной навигации и управления полетом.

Implementation of aircraft flight control at the descent stage

¹Markelov V.V., ²Shukalov A.V., ¹Kostishin M.O., ³Zharinov O.O.

¹ITMO, ²Design Bureau "Electroavtomatika", ³SUAI, Saint-Petersburg, Russia

An algorithm for the formation of trajectory control is considered. Control loop maintains arrival times at waypoints and initial approach fix.

The algorithm based on the model of the flight of the aircraft along the route. The algorithm implemented as part of the software of the onboard flight and navigation complex.

Simulation is carried out by integrating flight dynamics equations. Mathematical models of the atmosphere determine the dependence of state variables on time, aerodynamics, propulsion system, and onboard flight control system.

The initial data for modeling the flight along the descent trajectory: a given trajectory scheme in the horizontal plane, current flight and navigation parameters, aerodynamic characteristics of the aircraft and characteristics of the propulsion system.

The control variables are trajectory slope and true airspeed. The control signals are vertical overload and longitudinal overload.

The determination of the values of the control variables is carried out by choosing the value of the indicated or true speed during the descent stage. The condition for choosing the speed is to ensure the arrival at the waypoint at the specified time. A number of boundary conditions are accepted that are imposed on the flight segment under consideration. The choice of the speed value is carried out continuously by the iteration method.

Depending on the boundary conditions, the time window of arrival at the waypoint is calculated. The arrival window allows you to assess the achievability of maintaining a given time schedule.

The results of evaluating the presented algorithm for the formation of trajectory control are given. Recommendations on the use of the algorithm in onboard complexes of aircraft for solving problems of four-dimensional navigation and flight control are given.

Повышение точностных и эксплуатационных характеристик новых модификаций лазерных гироскопов МТ-401М

Медведев А.А., Синельников А.О., Чекалов Д.И., Грушин М.Е., Голяев Ю.Д.

АО «НИИ «Полос» им. М.Ф. Стельмаха», г. Москва, Россия

Сегодня лазерные гироскопы (ЛГ) успешно применяются в системах навигации воздушной, наземной и морской техники различного назначения. Среди этих гироскопов

особое место занимают ЛГ с магнитооптической частотной подставкой, которые используются в областях применения со сложными условиями эксплуатации и высоким уровнем внешних воздействующих факторов.

К данному классу приборов относятся ЛГ типа МТ-401М, разработанные и серийно-выпускаемые АО «НИИ «Полос» им. М.Ф. Стельмаха» и другими заводами РФ. Чувствительными элементами этих гироскопов являются лазерные датчики угловой скорости ЭК-104С с магнитооптической частотной подставкой на эффекте Зеемана [1], реагирующие на повороты объекта в инерциальном пространстве относительно трех взаимно перпендикулярных осей.

Однако обеспечение высокой устойчивости приводит к необходимости использования различных нагревательных элементов как в составе зеемановского датчика (катушки невзаимного устройства), так и в гироскопе (плата БЧП, ВИП). Это приводит к возникновению ряда негативных эффектов возникающих при разогреве датчиков и гироскопа в процессе работы, что приводит к снижению точностных характеристик и накладывает ограничение на время непрерывной работы прибора в одномодовом режиме.

Повышение надежности и стабильности выходных характеристик ЛГ МТ-401М при длительном хранении и в процессе работы было достигнуто благодаря совершенствованию чувствительных элементов и настройке режима работы гироскопа. С этой целью был снижен ток накачки с (1,2-1,6)мА до (0,9-1,0)мА [2,3] и ток невзаимного устройства с 0,5А до 0,35А. Это позволило повысить точность изделий, ресурс датчиков и увеличить время непрерывной работы ЛГ МТ-401М без потери информации о параметрах вращения.

Новые модификации зеемановских гироскопов МТ-401М полностью выполнены на отечественной элементной базе, обладают повышенной точностью измерения угловой скорости (0,2-0,8°/час вместо 1,5°/час), увеличенным временем непрерывной работы в одномодовом режиме в широком температурном диапазоне (от 30 минут до 4,5 часов в зависимости от модификации), пониженным энергопотреблением, высокой надежностью и меньшей стоимостью.

Improving the accuracy and performance of new modifications of laser gyroscopes MT-401M

Medvedev A.A., Sinelnikov A.O., Chekalov D.I., Grushin M.E., Golyaev Y.D.
POLYUS Research Institute of M.F. Stelmakh JSC, Moscow, Russia

Today, laser gyroscopes (LG) are successfully used in navigation systems for air, land and marine equipment for various purposes. Among these gyroscopes, a special place is occupied by LGs with magneto-optical frequency bias, which are used in applications with difficult operating conditions and a high level of external factors.

This class of devices includes LG type MT-401M, developed and mass-produced by Polyus and other factories of the Russia. Sensitive elements of these gyroscopes are EK-104S laser angular velocity sensors with magneto-optical frequency bias based on the Zeeman effect [1], which respond to rotations of an object in inertial space about three mutually perpendicular axes.

The absence of movable units both in the LG MT-401M itself and in its sensing elements ensures a potentially higher resistance of devices of this class to various external influences, which, together with a short readiness time, distinguishes them favorably from other analogues on the market.

However, ensuring high stability leads to the need to use various heating elements both as part of a Zeeman sensor (coil of a nonreciprocal device) and in a gyroscope (PCB board, VIP). This leads to the emergence of a number of negative effects arising from the heating of the sensors and the gyroscope during operation, which leads to a decrease in the accuracy characteristics and imposes a limitation on the time of continuous operation of the device in single-mode mode.

An increase in the reliability and stability of the output characteristics of the LG MT-401M during long-term storage and during operation was achieved due to the improvement of the sensitive elements and the setting of the gyroscope operating mode. For this purpose, in the EK-104S sensors and gyroscopes, the pump current was reduced from (1.2-1.6) mA to (0.9-1.0) mA

[2,3] and the current of the nonreciprocal device from 0,5A to 0,35 A. This made it possible to increase the accuracy of products, the service life of sensors and increase the continuous operation time of the LG without losing information about the rotation parameters.

New modifications of LG are completely made on the domestic element base, have increased accuracy in measuring the angular velocity (0.2-0.8°/ h instead of 1.5°/ h), increased time of continuous operation in single-mode mode in a wide temperature range. Range (from 30 minutes to 4.5 hours depending on the modification), lower power consumption, high reliability and lower cost.

Проблемы использования компьютерной томографии и способы их решения для задачи контроля печатных узлов

Минасян В.Б., Баранов В.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время, в связи с постоянным усложнением электроники, всё острее встает вопрос надежности, т.к. уплотнение компонентов и усложнение техпроцесса производства повышают требования к качеству изготовления. В связи с этим рентгеновский контроль становится всё более актуальным. Существует проблема обнаружения некоторых видов дефектов, которые могут быть видны только при определенных углах наблюдения, а также участков плат, находящихся в тени радиаторов.

В настоящее время помимо простого рентгеновского просвечивания печатных плат существуют такие методы как просмотр под углом, компьютерная томография и 3D-наклонная томография. Данные методы позволяют обнаружить такие типы дефектов, которые недоступны для обнаружения простым просвечиванием платы, при этом системы технического зрения для автоматизированного обнаружения дефектов недоступна при использовании томографии и подобных методов, работающих с трехмерными изображениями.

Помимо этого, существующие системы рентгеновского контроля с автоматизированным распознаванием дефектов имеют ряд недостатков, ограничивающих возможность их применения. Перспективным способом контроля малогабаритных печатных плат и печатных узлов с высокой плотностью монтажа или наличием BGA-компонентов является использование метода компьютерной томографии.

При проведении томографического сканирования на выходе получается трехмерное растровое рентгеновское изображение. Однако, ввиду того что чип-конденсаторы и шарики припоя у BGA-компонентов обладают большой плотностью и толщиной, возникают дополнительные проблемы: необходимость точной настройки параметров напряжения и тока рентгеновской трубки, сложности в определении местоположения контактных поверхностей, а так же сложность в определении трещин в паяных соединениях.

В связи с этим разработан способ улучшения качества распознавания паяных соединений, заключающийся в анализе не только трехмерного рентгеновского изображения печатного узла, но и печатной платы, а так же компонентов, что в совокупности позволяет выделить участки изображения, содержащие пайку, и исключить корпус и внутреннюю структуру компонента, для повышения качества анализа.

Основной особенностью данного способа является распознавание и сопоставление образов по трем измерениям и трем осям поворота.

В настоящее время проведены предварительные исследования, получены первые результаты, производится анализ полученных данных и составляется план углубленных исследований.

Computed tomography usage problems and ways to solve them for the problem of PCB inspection

Minasyan V.B., Baranov V.Y.

MAI, Moscow, Russia

Nowadays, due to the constant complication of electronics, the issue of reliability is becoming more and more acute. Downscaling of components cases and the complexity of the manufacturing

process increase the demands on the quality of manufacturing. In this regard, X-ray inspection is becoming more and more important. There is a problem of detecting some types of defects that can be seen only at certain viewing angles, as well as parts of the boards that are in the shadow of the radiators.

Currently, in addition to simple X-ray scanning of PCBs, there are methods such as viewing at an angle, computed tomography (CT), and 3D oblique tomography. These methods make it possible to detect types of defects that are not available for detection by simply scanning the board, while computer vision systems for automated defect detection are not available when using CT and similar methods working with 3D images.

In addition, existing X-ray inspection systems with automated defect recognition have a number of disadvantages that limit their applicability. A promising way to control small-sized printed circuit boards and printed circuit boards with a high packing density or the presence of BGA components is the use of the CT method.

When performing a CT scan, a 3D raster X-ray image is obtained at the output. However, due to the fact that chip capacitors and solder balls in BGA components have a high density and thickness, additional problems arise: fine-tune the voltage and current parameters of the X-ray tube is required, determining the location of contact surfaces can be difficult, as well as identifying cracks in soldered joints.

Concerning, a method has been developed to improve the recognition quality of soldered joints, which consists in analyzing not only a 3D X-ray image of a printed circuit assembly, but also a PCB, as well as components, which together makes it possible to identify areas of the image containing soldering and exclude the case and internal structure component to improve the quality of the analysis.

The main feature of this method is the recognition and comparison of patterns in three dimensions and three axes of rotation.

Currently, preliminary studies have been carried out, the first results have been obtained, the data obtained are analyzed and a plan for in-depth studies is being drawn up.

Математическая модель раскрытия спицы крупногабаритного космического рефлектора, состоящей из нескольких частей

Митин Ф.В., Никулин Е.Н.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Одним из основных этапов, оказывающих влияния на работу крупных антенн космического базирования, является надёжное и плавное раскрытие элементов конструкции. Данное условие является критичным именно для крупногабаритных систем. С увеличением диаметра радиоотражающей поверхности возрастают моменты инерции антенны. Поскольку в космическом пространстве затухание колебаний конструкции, вызванное раскрытием элементов, переориентацией аппарата, происходит за счёт диссипативных сил, то даже незначительные усилия могут привести к длительным колебаниям. Дополнительную сложность представляет многозвенность элементов. Для повышения надёжности использования крупногабаритных систем важным является этап математического моделирования, позволяющий оценить величины возникающих изгибов, время затухающих колебаний.

В данной работе для моделирования процессов раскрытия спицы, как наиболее часто встречающегося элемента крупногабаритных конструкций, усовершенствована математическая модель. Особенностью данной модели является учёт в ней соединения двух звеньев. Это позволяет исследовать динамику спицы при наличии люфтов, различных устройств соединения. При достижении спицей конечного положения для гашения скорости развёртывания предусмотрен механизм упора. Физически он состоит из упругого и демпфирующего элементов, например, пружины и вибропрокладки. Во избежание отскока спицы от упора установлен механизм фиксатора, состоящий из упругого и демпфирующего элементов.

Представлены результаты моделирования для модели с различными массо-габаритными параметрами, различными граничными условиями сопряжения двух звеньев спицы. Изменение этих параметров приводит к значительному изменению динамики системы. Проанализирована зависимость переходных процессов раскрытия при применении различных материалов и управляющих устройств. Показана возможность применения разработанных математических моделей для широкого круга задач.

Mathematical model of deployment of the spoke consisting of several parts of a large-sized space reflector

Mitin F.V., Nikulin E.N.

BSTU "VOENMEH" named after D.F. Ustinov, Saint Petersburg, Russia

One of the main stages that affect the operation of large space-based antennas is the deployment and smooth disclosure of structural elements. This condition is critical for large systems. With increasing diameter of the radio-reflecting surface, the moments of inertia of the antenna increase. In outer space, the damping of structural vibrations caused by the opening of elements, the reorientation of the apparatus occurs due to dissipative forces. Insignificant efforts can lead to long fluctuations. The additional complexity is the multicomponent elements. To increase the reliability of using large-sized systems, the stage of mathematical modeling is important, which allows one to estimate the magnitudes of the arising bends and the time of damped oscillations.

In this work, to model the processes of deploying the spoke, as the most common element of large-sized structures, the mathematical model is improved. A feature of this model is that it takes into account the connection of two elements. This allows you to explore the dynamics of the spokes in the presence of backlashes, various connection devices. When the spoke reaches its final position, the stop mechanism is provided for damping the deployment speed. Physically, it consists of elastic and damping elements, for example, springs and vibration pads. In order to prevent the spoke from bouncing, a latch mechanism is installed, consisting of elastic and damping elements.

The simulation results are presented for a model with different mass and dimension parameters, different boundary conditions for the conjugation of two parts of the spoke. Changing these parameters leads to a significant change in the dynamics of the system. The dependence of the transient deployment processes using various materials and control devices is analyzed. The possibility of using the developed mathematical models for a wide range of problems is shown.

Модульная архитектура тренажерного человеко-машинного комплекса

Митрофанов С.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Авиационные тренажеры являются важнейшей составляющей технических средств обучения, подготовки и переподготовки авиационных специалистов различных категорий. Возникнув на заре становления авиации, они прошли большой путь развития – от простейших тренировочных устройств до сложнейших многофункциональных учебно-тренировочных обучающих систем, в которых реализовывались новейшие достижения науки и техники. Появление новейших мощных компьютеров и совершенного программного обеспечения делает возможным создание современных авиационных тренажеров с высокоточным моделированием систем и процессов. Однако возрастает и сложность разрабатываемого программного обеспечения. Помимо повышения точности имитации взаимодействия с системами самолета необходимо выполнять требования по расширению функционала, резервированию, ремонтпригодности симуляторов. Надежная и своевременная передача данных между системами авионики немаловажная проблема на сегодняшний день, так как в авиационных тренажерах в реальном времени должен происходить обмен огромным количеством информации. Модульная архитектура, позволяющая создавать модули независимо друг от друга и объединять их должна помочь в решении данных проблем. Модульность упрощает процесс разработки программного обеспечения и позволяет:

- Упростить интеграцию аппаратного и программного обеспечения;
- Снизить риск сбоев на более низких уровнях;

- Обеспечить резервирование системы на случай обнаружения неисправности во время работы какого-либо модуля;
- Упростить обслуживание тренажера в целом.

Modular architecture of the human-machine training complex

Mitrofanov S.Y.

MAI, Moscow, Russia

Aviation simulators are the most important component of technical means of training, training and retraining of aviation specialists of various categories. Having emerged at the dawn of aviation, they have come a long way – from the simplest training devices to the most complex multifunctional training systems, which implemented the latest achievements of science and technology. The appearance of the latest powerful computers and advanced software makes it possible to create modern flight simulators with high-precision modeling of systems and processes. However, the complexity of the software being developed is also increasing. In addition to improving the accuracy of simulating interaction with aircraft systems, it is necessary to meet the requirements for expanding the functionality, redundancy, and maintainability of simulators. Reliable and timely data transfer between avionics systems is an important problem today, since a huge amount of information must be exchanged in real time in aviation simulators. A modular architecture that allows you to create modules independently of each other and combine them should help solve these problems. Modularity simplifies the software development process and allows you to:

- Simplify the integration of hardware and software;
- Reduce the risk of failures at lower levels;
- Provide system redundancy in the event of a fault being detected during the operation of a module;
- Simplify the maintenance of the simulator as a whole.

Исследование перекрестных помех в электрических соединителях

Нгуен Т.В., Кириллов В.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Бортовая сеть электротехнического комплекса летательного аппарата состоит из большого числа проводников и электрических соединителей, объединенных в электрические жгуты, предназначенные для передачи и распределения энергии, информационных и управляющих сигналов.

Из-за наличия емкостных и индуктивных связей между проводниками электрических жгутов возникают перекрестные помехи, которые могут нарушать условия электромагнитной совместимости проводников в электрических жгутах, ухудшать качество функционирования бортовых приборов и устройств электротехнических комплексов летательных аппаратов. Экраны проводников в электрических жгутах позволяют ослабить уровни перекрестных электромагнитных помех. Перекрестные помехи могут также распространяться через контакты электрических соединителей.

При оценивании уровней перекрестных помех в электрических жгутах бортовой сети летательных аппаратов необходимо учитывать и давать количественную оценку перекрестных помех между контактами электрических соединителей.

На основе проведенных экспериментальных исследований получены результаты, позволяющие оценить уровни перекрестных электромагнитных помех между контактами электрических соединителей различного типа в широком частотном диапазоне 100 кГц-3ГГц.

Для исследования перекрестных помех были использованы электрические соединители прямоугольной и цилиндрической формы.

Исследовались уровни перекрестных электромагнитных помех между контактами, расположенными на различном расстоянии в пределах конструкции электрического соединителя.

Установлены экспериментальные зависимости уровней перекрестных электромагнитных помех от частоты, конструкции электрических соединителей и расстояния между контактами.

Разработаны рекомендации по ослаблению перекрестных электромагнитных помех в электрических соединителях жгутов бортовой кабельной сети летательных аппаратов.

Investigating the conductivity interference in electrical connectors

Nguyen V.V., Kirillov V.Yu.

MAI, Moscow, Russia

The onboard electrical network of aircraft is a combination of a large number of conductors and electrical connectors, united in electrical harnesses designed to transmit and distribute energy, information, and control signals.

Due to the presence of capacitive and inductive couplings between the conductors of electrical harnesses caused conductivity interference, which can disrupt the conditions for electromagnetic compatibility of conductors in electrical harnesses and reduce the quality of functioning of onboard instruments and devices of the electrical network systems of aircraft. Shielding the conductors in electrical harnesses can help reduce conductivity interference levels that can propagate through electrical connectors' pins.

When evaluating the levels of conductivity interference in the wiring harness of the onboard electrical network systems, it is necessary to consider and quantify the conductivity interference between the electrical connectors' pins.

The conductivity interference levels between the electrical connectors' pins and other connectors were investigated within 100 kHz to 3 GHz frequencies based on the experimental results.

To investigate the conductivity interference, rectangular and cylindrical electrical connectors were used.

The conductivity interference levels between pins located at different distances within the electrical connector design were investigated.

Experimental results illustrated that the conductivity interference level depends on the frequency, electrical connectors' structure, and the distance between pins in the electrical connectors.

The solutions for reducing the conductivity interference in electrical connectors of the onboard electrical network systems of aircraft were presented.

Методология управления двигателем-маховиком для высокодинамичных космических аппаратов

Некрасов В.В., Соседко К.А.

Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва, Россия

При диссертационном исследовании на тему: «Микроконтроллерная система управления двигателем-маховиком для высокодинамичных космических аппаратов», была разработана методология управления двигателем-маховиком в режиме управления скоростью вращения ротора для высокодинамичных космических аппаратов. Методология включила в себя методики, выполняющие различные задачи: нейтрализацию значения ошибки скорости вращения ротора; компенсацию момента сопротивления для всего рабочего диапазона скоростей вращения ротора; управление двигателем-маховиком бортовым комплексом управления космического аппарата и т. д. По своей структуре, методология имеет два уровня: теоретический и эмпирический. Теоретический уровень включил: принципы, понятия, подходы и теории, использованные в проведенном исследовании [1-3]. Эмпирический уровень включил в себя: методы (натурные испытания) и методики экспериментальной проверки изысканий теоретического уровня методологии управления двигателем-маховиком по скорости вращения ротора для высокодинамичных космических аппаратов.

По итогам проделанной работы, для натурных испытаний, были созданы прототип двигателя-маховика с системой внутреннего микроконтроллерного управления и комплект проверочной аппаратуры, имитирующей управляющие сигналы бортового комплекса управления космического аппарата.

Натурные испытания подтвердили адекватность решения поставленных задач, теоретических методов и доказали работоспособность созданной методологии управления двигателем-маховиком по скорости вращения ротора для высокодинамичных космических аппаратов.

По итогам результатов натурных испытаний, созданная методология управления внедрена в работы АО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Литература:

1. Некрасов В.В. Построение с помощью графов математической модели МК-системы управления ДМ в режиме заданной скорости для высокодинамичных КА – г. Королев: Космическая техника и технологии 2020 №1(28) январь-март. – С. 126 – 134.

2. Некрасов В.В. Построение математической модели микроконтроллерной системы управления двигателя-маховика в режиме заданной скорости с помощью различных математических методов и законов регулирования. – Москва: Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. Т.171 №4, 2019 – С. 3 – 8.

3. Некрасов В.В. Оптимизация математической модели МК-системы управления ДМ для высокодинамичных КА. – Москва: Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. Т.173 №6, 2019 – С. 33 – 40.

Methodology of control flywheel engine for high-dynamic satellites

Nekrasov V.V., Sosedko K.A.

VNIIEM Corporation, Moscow, Russia

During the dissertation research on the topic: "Microcontroller system control of flywheel engine for highly dynamic satellites", carried out according to specialty # 05.13.01 (system analysis, control and information processing), a methodology for controlling the flywheel engine in the control mode speed was developed rotor rotation for highly dynamic satellites. The methodology included techniques that perform various tasks: neutralizing the error value of the rotor speed; compensation of the moment of resistance for the entire operating range of rotor rotation speeds; control of the flywheel engine by the onboard control complex of the satellite, etc. By its structure, the methodology has two levels: theoretical and empirical. The theoretical level included: principles, concepts, approaches and theories used in the study [1-3]. The empirical level included: methods (field tests) and methods of experimental verification of the theoretical level of the flywheel motor control methodology in terms of the rotor speed for highly dynamic satellites.

Based on the results of the work done, for field tests, a prototype of a flywheel engine with an internal micro-controller control system and a set of test equipment simulating the control signals of the onboard control complex of the satellite were created.

Full-scale tests have confirmed the adequacy of the solution of the assigned tasks, theoretical methods and proved the efficiency of the created methodology for controlling the flywheel engine by rotor speed for highly dynamic satellites.

Based on the results of field tests, the created management methodology was introduced into the work of VNIIEM Corporation JS.

References:

1. Nekrasov V.V. Construction using graphs of a mathematical model of the MC-control system of the DM in the mode of a given speed for highly dynamic spacecraft - Korolev: Space Engineering and Technology 2020 №1 (28) January-March. - P. 126 - 134.

2. Nekrasov V.V. The construction of a mathematical model of the MK-control system DM in the mode of a given speed using various methods and laws of regulation. - M.: Questions of electromechanics. Proceedings of VNIIEM. T.171 - # 4 2019 - P.3-8.

3. Nekrasov V.V. Optimization of the mathematical model of the MC-control system of the DM for highly dynamic spacecraft. - Moscow: Questions of electromechanics. VNIIEM Proceedings. T. 173 # 6, 2019 - P. 33 - 40.

Самообучающаяся нейронная сеть для помощи пилоту самолета при нестандартных чрезвычайных ситуациях

Новиков А.Ю., Ярославский В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном мире существует множество вещей, помогающих подготовить опытного пилота, способного решить и преодолеть множество проблем в самолете при чрезвычайных ситуациях. Но каким бы не был отличным и умелым пилот, не от всех таких ситуаций помогут его личные навыки во избежание проблемы. В основу разработки данной программы легло уменьшение риска катастрофы с разными неприятностями, связанными с непредвиденными проблемами.

Для разработки программы потребовалось провести подготовку из нескольких этапов. В первую очередь было необходимо создать модуляцию, способную симитировать чрезвычайные ситуации, как внешнего характера, так и внутреннего, связанного с самолетом. Для моделирования объекта «самолет» было решено использовать программу Autodesk 3Ds Max. Далее данный объект импортировался в Unreal Engine 4, так как данная программа имеет приближенные к реальности физические возможности. В Unreal Engine 4 были созданы генерирующиеся сцены с разными сценариями происшествий. Для данных сценариев была написана нейронная сеть на языке Python, которая отслеживает каждый случай и корректирует поведение самолета. Сама нейронная сеть самообучающаяся, что позволяет ей с каждым новым сценарием сводить к нулю трагический исход для конкретного случая.

Как итог, была разработана и обучена нейронная сеть, которую можно использовать как софт помощник-компаньон для пилотирования самолета в экстренных ситуациях. Данная программа будет мгновенно реагировать на опасность и направлять пилота на действия, которые максимально обезопасят данный полет.

Self-learning neural network to help an airplane pilot in non-standard emergencies

Novikov A. Y., Yaroslavskiy V. V.

MAI, Moscow, Russia

In today's world, many things that can help prepare an experienced pilot can solve and overcome many problems on the plane in an emergency. But no matter how great and skillful the pilot is, not all such situations will be helped by his personal skills in order to avoid the problem. The development of this program was based on reducing the risk of a disaster with various troubles associated with unforeseen problems.

The development of the program required several stages of preparation. First of all, it was necessary to create a modulation capable of simulating emergencies, both external and internal, associated with an aircraft. To model the aircraft object, it was decided to use the Autodesk 3Ds Max program. Further, this object was imported into Unreal Engine 4, since this program has physical capabilities close to reality. In Unreal Engine 4, generated scenes were created with different scenarios of incidents, for example, weather, such as a tornado, or related to an aircraft engine fire. For these scenarios, a neural network was written in Python, which monitors each case and corrects the aircraft's behavior. The neural network itself is self-learning, which allows it to nullify the tragic outcome for a particular case with each new scenario.

As a result, a neural network was developed and trained, which can be used as a companion software assistant for piloting an aircraft in emergency situations. This program will instantly react to danger and direct the pilot to actions that will maximize the safety of the flight.

Об одном типе задач о рюкзаке и их решении

Офицеров В.П., Бузин М.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В авиации и космонавтике актуальной является задача эффективного размещения грузов, оборудования в ограниченных объемах [1]. В ряде случаев в качестве модели размещения грузов можно рассматривать классическую задачу дискретной оптимизации об эффективном наполнении некоторой емкости, ограниченной по объему и (или) грузоподъемности,

известной как задача о рюкзаке [2,3]. В общем виде задачу можно сформулировать так: из заданного множества предметов со свойствами «стоимость», «объем» и «вес», требуется отобрать некое число предметов таким образом, чтобы получить максимальную суммарную стоимость при одновременном соблюдении ограничения на суммарный вес и суммарный объем.

Существуют различные точные и приближенные алгоритмы решения задачи о рюкзаке [2,4]. К точным алгоритмам относятся: полный перебор, метод ветвей и границ [4], метод динамического программирования [3]. Приближенными алгоритмами являются жадный [4] и генетический. При введении ограничения выбора на число типов предметов (не более d^* из n), большинство известных алгоритмов нужно применять для каждого варианта выбора d^* из n , а затем выбирать наилучший из полученных решений. Исключение составляют жадные алгоритмы. Но они не дают в общем случае оптимального решения. В докладе рассматривается новый эффективный алгоритм решения задач о наполнении рюкзака ограниченным количеством типов предметов. Алгоритм основан на идеях динамического программирования. Отличие от классического метода Беллмана заключается в построении рекурсивных уравнений вычисления промежуточных значений целевых функций на базе числа переменных (числа типов предметов) определяющих эти значения. В классическом методе в рекурсивных вычислениях участвуют фиксированные номера переменных, а не их число.

Литература:

1. Офицеров В.П. Об оптимальном выполнении программы космических исследований заданным числом типов ракет-носителей. //АН СССР Космические исследования. – 1980. – 18, № 4. – С. 550–555.
2. Kellerer H., Pferschy U., Pisinger D. Knapsack Problems (англ.) — Springer Science+Business Media, 2004. — 548 p.
3. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. – М.: Наука, 1965. – 460 с.
4. Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. Алгоритмы: построение и анализ. М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2013.- 1328 с. — ISBN 978-5-8459-1794-2

One type of tasks about the backpack and their decision

Ofitserov V.P., Buzin M.V.

MAI, Moscow, Russia

In aircraft and astronautics the problem of effective placement of loads, the equipment in limited volumes is relevant [1]. In some cases as model of placement of loads it is possible to consider the classical problem of discrete optimization about effective filling of some capacity limited on the volume and (or) the loading capacity known as the task about the backpack [2,3]. In the general view the task can be formulated so: from the set set of objects with "cost", "volume" and "weight" properties, it is required to select the certain number of objects so that to receive the maximum total cost at simultaneous observance of restriction for total weight and total volume. There are different exact and approximate algorithms of the solution of the task on the backpack [2,4]. Treat exact algorithms: full search, method of branches and borders [4], method of dynamic programming [3]. Approximate algorithms are greedy [4] and genetic. At imposition of the restriction of the choice on number of types of objects (no more d^* from n), it is necessary to apply the majority of the known algorithms to each option of the choice of d^* from n , and then to choose the best of the received decisions. The exception is made by greedy algorithms. But they do not give generally the optimal solution. In the report the new effective algorithm of the solution of tasks on filling of the backpack is considered by limited quantity of types of objects. The algorithm is based on the ideas of dynamic programming. The difference from the classical method of Bellman consists in creation of the recursive equations of calculation of intermediate values of target functions on the basis of number of variables (number of types of the objects) defining these values. In recursive calculations the fixed numbers of variables, but not their number participate in the classical method.

Regerences:

1. Ofitsеров V. P. About optimum implementation of the program of space researches the set number of types of carrier rockets.//AH USSR Space researches. – 1980. – 18, No. 4. – Page 550–555.

2. Kellerer H., Pferschy U., Pisinger D. Knapsack Problems (English) - Springer Science+Business Media, 2004. - 548 p.

3. Bellman R., Dreyfus Page. Applied problems of dynamic programming. – M.: Science, 1965. - 460 pages.

4. Т. Kormen, Ch. Leyzerson, R. Rivest, K. Stein. Algorithms: creation and analysis. M.: LLC I. D. Williams, 2013. - 1328 pages - ISBN 978-5-8459-1794-2

3-D моделирование и прототипирование гетерогенных деталей сложной формы

Павлов В.Ю., Вальков В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе рассматриваются исследуемые в текущее время способы оптимизации и совершенствования методов применения 3Д-печати и 3Д-моделирования, используемых при проектировании и прототипировании корпусных деталей оптических датчиков и иных устройств, требующих мелкосерийного прототипирования и производства.

3Д-печать по технологии FDM является доступным и универсальным способом изготовления различных объектов сложной формы из широкого спектра возможных материалов. Существенным преимуществом этого метода печати является схожесть технических и программных решений с технологиями станков с ЧПУ. Это позволяет с минимальными изменениями использовать программный код на языке GCODE, который представляет собой набор инструкций и описывает процесс изготовления каждой отдельной детали.

Усовершенствованные методы 3Д-моделирования и 3Д-печати, применимость которых исследуется в данной работе, включают в себя различные типы инкапсуляции гетерогенных объектов в изготавливаемую деталь непосредственно в процессе 3Д-печати, возможность комбинирования нескольких типов материалов в одной детали с целью комбинирования их свойств, а также армирование детали при помощи сетчатых структур из различных материалов, впечатываемых между слоями пластика.

Базисом для экспериментальной проверки данных методов являются теоретические исследования, подтвердившие их реализуемость. Следующим этапом, проводимым в данный момент, является серия практических экспериментов, которые призваны дать более четкое понимание аспектов реализации и применения упомянутых методов, а также позволить сформировать общую методологию их использования.

3-D modelling and prototyping of heterogeneous parts with complex shape

Pavlov V.Y., Valkov V.V.

MAI, Moscow, Russia

This study reviews currently investigated ways of optimizing and improving the methods of using 3D printing and 3D modeling in the design and prototyping of body parts for optical sensors and other devices that require small-scale prototyping and production.

FDM technology of 3D printing is an affordable and versatile way of manufacturing various objects of complex shapes with a wide range of possible materials. A significant advantage of this printing method is the similarity of its technical and software solutions with the technologies of CNC machines. This allows us with minimal changes use the program code in the GCODE language, which is a set of instructions and describes the manufacturing process of each individual part.

The improved methods of 3D modeling and 3D printing, the applicability of which is investigated in this work, include various types of encapsulation of heterogeneous objects in the manufactured part directly in the 3D printing process, the possibility of combining several types of materials in one part in order to combine their properties, and also the reinforcement of the part with mesh structures of various materials imprinted between the plastic layers.

The basis for the experimental verification of these methods is theoretical studies that have confirmed their feasibility. The next stage being carried out at the moment is a series of practical experiments, which are designed to give a clearer understanding of the aspects of the implementation and application of the mentioned methods, as well as to form an overall clear methodology for their use.

Основные принципы построения базы данных для хранения информации о результатах испытаний авиационной техники

Павлов В.Ю., Костиков Ю.А., Сдобнов А.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из важнейших элементов, обеспечивающих ускорение процесса разработки новых образцов авиационной техники, является быстрый и эффективный анализ результатов проведенных испытаний, поэтому создание систем их хранения и автоматизированной обработки является актуальной задачей. Центральным элементом такой системы является специализированная база данных.

Основные требования, предъявляемые к базе данных хранения результатов экспериментов таковы:

1. Универсальность. Данное требование означает, что база данных должна быть приспособлена для хранения информации любого типа, как количественного, так и качественного.

2. Связность. Должна быть обеспечена возможность узнать значение любого иного параметра, измененного одновременно с отслеживаемым основным параметром.

3. Историчность. Любой контролируемый параметр должен быть однозначно привязан к моменту проведения измерения.

4. Сопоставимость. Информация, хранимая в БД, должна обеспечивать возможность корректного сравнения и интерпретации данных.

5. Адресность. Должна обеспечиваться возможность не только точной привязки данных к конкретному объекту эксперимента, но и к его состоянию на момент проведения эксперимента.

6. Гибкая система прав доступа к данным и операциям с ними. Пользователь должен иметь доступ только к необходимому объему экспериментальных данных.

7. Изолированная пользовательская среда. Каждый пользователь должен иметь независимую «песочницу», в которой он имеет право на любые преобразования предоставленных ему экспериментальных данных, не меняя при этом исходных данных.

Отличительной чертой предложенного решения является вынесение непосредственно в базу данных алгоритмов (реализованных через процедуры и функции базы данных), обеспечивающих предоставление доступа к экспериментальным данным. В этом случае проблема обеспечения безопасности и эффективного доступа к экспериментальным данным в полном объеме переносится на сторону сервера.

Поскольку с различных измерительных приборов и датчиков информация может поступать в самых различных компьютерных форматах, представляется целесообразным использовать принцип «каждому машинному типу данных – своя таблица». Такой подход делает алгоритм выборки данных более сложным, но поскольку нами используется принцип выборки данных только средствами процедур/функций на стороне сервера, для пользовательских приложений этот процесс будет «прозрачным» и обеспечивающим отсутствие необходимости постоянного преобразования форматов данных.

Main principles of building a database for storing information about the results of aviation equipment tests

Pavlov V.Y., Kostikov Y.A., Sdobnov A.G.

MAI, Moscow, Russia

One of the most important elements ensuring the acceleration of the process of developing new models of aviation equipment is a quick and effective analysis of the results of tests carried out,

therefore, the creation of systems for their storage and automated processing is an urgent task. The central element of such a system is a specialized database.

The main requirements for the database for storing the results of experiments are as follows:

1. Versatility. This requirement means that the database must be adapted to store information of any type, both quantitative and qualitative.

2. Connectivity. It shall be possible to find out the value of any other parameter changed simultaneously with the monitored main parameter.

3. Historicity. Any monitored parameter must be uniquely linked to the moment of measurement.

4. Comparability. The information stored in the database must provide the ability to correctly compare and interpret the data.

5. Targeting. It should be possible not only to accurately link data to a specific object of the experiment, but also to its state at the time of the experiment.

6. Flexible system of access rights to data and operations with them. The user should only have access to the required amount of experimental data.

7. Isolated user environment. Each user should have an independent "sandbox" in which he has the right to any transformations of the experimental data provided to him, without changing the original data.

A distinctive feature of the proposed solution is the introduction directly into the database of algorithms (implemented through the procedures and functions of the database) that provide access to experimental data. In this case, the problem of ensuring security and effective access to experimental data is fully transferred to the server side.

Since information can come from various measuring instruments and sensors in a variety of computer formats, it seems expedient to use the principle "each machine data type has its own table". This approach makes the data fetching algorithm more complex, but since we use the principle of fetching data only by means of procedures / functions on the server side, this process will be "transparent" for user applications and ensure that there is no need to constantly convert data formats.

Методы и инструменты цифровизации жизненного цикла аэрокосмической техники

Падалко С.Н., Бродский А.В., Махорин А.О., Станкевич А.М.

МАИ, г. Москва, Россия

В представленном докладе развиваются основные положения работы [1]. Основываясь на этих положениях, ниже излагаются методы и инструменты реализации этапов жизненного цикла систем информатизации организаций (СИО).

Проектирование. Предлагаемый метод основан на последовательной детализации проекта и минимизации глубины детализации за счет использования типовых проектных решений. При проектировании СИО проектными решениями являются процессы деятельности организаций. Метод содержит принцип типизации процессов. За его основу предлагается взять типовые процессы функционирования кибернетической системы. Инструментом проектирования СИО являются CASE-системы, предназначенные для формирования и анализа бизнес-процессов в различных нотациях.

Реализация. Методы реализации определяются программной платформой, на базе которой осуществляется информатизация организации, и состоят в основном в выполнении настроек используемой платформы [2]. Инструментарием реализации СИО является сама платформа.

Техническая эксплуатация. Методы, по сути, аналогичны методам интегрированной логистической поддержки изделий и относятся к методам эксплуатации «по состоянию». Соответствующие процессы изложены в библиотеке ГПЛ. Инструменты в данном случае могут использоваться те же, что и при технической эксплуатации аэрокосмической техники [3, 4]. В том числе, с использованием различных веб-приложений [5].

Литература:

1. Падалко С.Н. Системы информатизации организаций как самостоятельный класс систем // Авиация и космонавтика – 2018. Тезисы 17-ой Международной конференции. 2018. С. 676-677.

2. Падалко С.Н. Рекомендации для консалтинга в области информатизации организаций // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 12. С. 267-270.

3. Гинзбург И.Б. Концепция построения распределенных систем информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники с использованием функционально насыщенных веб-клиентов // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №5. С. 159-161.

4. Станкевич А.М., Суворова О.А. Типовая структура процессов технического обслуживания и ремонта изделий авиационной техники // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. №5. С. 320-323.

5. Гинзбург И.Б. Состав и архитектура взаимодействия модулей функционально насыщенного автономного веб-приложения для распределенных систем информационной поддержки различных этапов жизненного цикла аэрокосмической техники // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №6. С. 130-133.

Aerospace engineering life cycle digitalization methods and tools

Padalko S.N., Brodsky A.V., Makhorin A.O., Stankevich A.M.

MAI, Moscow, Russia

The presented report develops the main provisions of work [1]. Based on these provisions, below are the methods and tools for implementing the life cycle stages of organizations' information systems (OIS).

Design. The proposed method is based on consistent project detailing and minimizing the depth of detail through the standard design solutions usage. When designing an OIS, design solutions are the organizations' activities processes. The method contains the principle of typical processes. It is proposed to take the typical processes of the cybernetic system functioning as the basis. The design tools for OIS are CASE-systems designed for business processes formation and analysis in various notations.

Implementation. The implementation methods are determined by the software platform, on the basis of which the organization's informatization is carried out, and consist mainly of making the settings of the platform used [2]. The platform itself is the tool for implementing the OIS.

Technical operation. The methods are, in essence, similar to the methods of integrated logistic support of products and refer to the methods of "on condition" operation. The related processes are outlined in the ITIL library. In this case the same tools can be used as in aerospace technology technical operation [3, 4]. Including, using various web applications [5].

References:

1. Padalko S.N. Informatization systems of organizations as an independent class of systems // Aviation and Cosmonautics - 2018. Abstracts of the 17th International Conference. 2018. pp. 676-677.

2. Padalko S.N. Recommendations for consulting in the field of informatization of organizations // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2018. No. 12. pp. 267-270.

3. Ginzburg I.B. The concept of building distributed information support systems for the maintenance of aerospace equipment using functionally rich web clients // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2014. No. 5. pp. 159-161.

4. Stankevich A.M., Suvorova O.A. Typical structure of the processes of maintenance and repair of aircraft products // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2012. No. 5. pp. 320-323.

5. Ginzburg I.B. Composition and architecture of interaction of modules of a functionally rich autonomous web application for distributed information support systems for various stages of the life cycle of aerospace technology // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2014. No. 6. pp. 130-133.

Исследование характеристик комплексной навигационной системы в зависимости от особенностей первичной обработки измерительной информации

Пронькин А.Н., Жарков М.В., Кузнецов И.М.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время большинство комплексных навигационных систем (КНС) основаны на использовании совместной обработки информации различных навигационных измерителей. В таких системах, где информационным ядром является бесплатформенная навигационная система (БИНС), корректируемая по информации от приёмника глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), в качестве программно-математического аппарата часто используется оптимальный фильтр Калмана. Созданию подобных КНС посвящено достаточное количество работ [1, 2, 3]. Одним из достоинств комплексирования с ГНСС является наличие в измерениях временной шкалы. Это позволяет реализовать процесс фильтрации с привязкой измерений к единой шкале времени, осуществляя таким образом синхронизацию измерений. Отсутствие синхронизации измерений может привести к неадекватной работе фильтра, так как работа системы не будет соответствовать модели системы, представленной в ОФК.

Стоит отметить, что существует ряд КНС, в которых нет ГНСС приёмника или информация от него может отсутствовать достаточно длительное время, также такие КНС могут обладать достаточно протяженными информационными линиями. Поэтому вопрос синхронизации измерений, а, следовательно, и вопрос адекватности работы фильтра в таких КНС выходит на первый план.

В работе рассматриваются различные подходы статистикой обработки первичной информации БИНС и корректора, поступающей в ОФК. Дается анализ применения используемых подходов на адекватность работы ОФК, приводятся графические результаты моделирования работы КНС и оценок вектора состояния ошибок БИНС.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, номер темы FSFF-2020-0015

Литература:

1. Кузовков Н.Т., Салычев О.С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. – М.: Машиностроение, 1982. 216 с.
2. Степанов О. А. Методы обработки навигационной измерительной информации. СПб: Университет ИТМО, 2017. – 196 с
3. Antonov D.A., Veremeenko K.K., Zharkov M.V., Zimin R.Y., Kuznetsov I.M., Pronkin A.N. Fault-tolerant integrated navigation systems for an unmanned apparatus using-computer vision, Journal of Computer and Systems Sciences International, volume 59, pages 261–275 (2020).

Investigation of the characteristics of an integrated navigation system depending on the features of the primary processing of measurement information

Pronkin A.N., Zharkov M.V., Kuznetsov I.M.

MAI, Moscow, Russia

Currently, most integrated navigation systems (NS) are based on the use of joint information processing of various navigation meters. In such systems, where the information core is a strapdown navigation system, corrected by information from the receiver of the global navigation satellite system (GNSS), the estimated Kalman filter (EKF) is often used as a software and mathematical tool. A sufficient number of works have been devoted to the creation of such NS. One of the advantages of integration with GNSS is the presence of a time scale in the measurements. This allows to implement a filtering process that binds measurements to a single time scale, thus synchronizing measurements. The lack of synchronization of measurements may lead to inadequate filter operation, since the system operation will not correspond to the system model presented in the EKF.

It is worth noting that there are a number of NS that do not have a GNSS receiver, therefore, the issue of synchronization of measurements.

The paper considers various approaches for processing the primary information of the strapdown navigation system and proofreader received by the EKF. An analysis of the application of the approaches used for the adequacy of the EKF operation is given, and graphical results of modeling the work of the INS and estimates of the state vector of strapdown navigation system errors are presented.

The paper considers various approaches for processing the primary information of the strapdown navigation system and proofreader received by the EKF. An analysis of the application of the approaches used for the adequacy of the EKF operation is given, and graphical results of modeling the work of the NS and estimates of the state vector of strapdown navigation system errors are presented.

The work was performed within the framework of the state task of the Ministry of science and higher education of the Russian Federation, topic number FSFF-2020-0015

References:

1. Kuzovkov N. T., Salychev O. S. Inertial navigation and optimal filtration, Moscow: Mashinostroenie, 1982, 216 p.
2. Stepanov O. A. methods of processing navigation measurement information. Saint Petersburg: ITMO University, 2017. – 196 p.
3. Antonov D.A., Veremeenko K.K., Zharkov M.V., Zimin R.Y., Kuznetsov I.M., Pronkin A.N. Fault-tolerant integrated navigation systems for an unmanned apparatus using-computer vision, Journal of Computer and Systems Sciences International, volume 59, pages 261–275 (2020).

Использование конвейеризированных генераторов контрольных кодов для сравнения инструментального программного обеспечения

Ратников М.О., Брехов О.М.

МАИ, г. Москва, Россия

При разработке современной вычислительной системы невозможно обойтись без использования инструментального программного обеспечения (ПО). К такому ПО можно отнести: компилятор языка описания аппаратуры (HDL), компиляторы нетлиста из описания на языке высокого уровня (ЯВУ), симулятор, синтезатор, генератор прошивки и т.д.

В работе предлагается для проверки и сравнения инструментального ПО использовать тестовую систему на основе конвейеризированного генератора контрольных кодов (на базе CRC и MD4). Такие тестовые системы не требуют больших затрат для разработки, но при этом обладают рядом важных преимуществ:

- Могут быть использованы на других этапах разработки, таких как выбор аппаратной платформы, выбор способа обеспечения сбоеустойчивости, тестирование системы и т.д.
- Обладают свойством масштабируемости, т.е. без дополнительных временных затрат можно изменять объем тестовой системы для изменения объема занимаемой аппаратуры.
- Легко проверить корректность работы системы (результаты известны)
- Позволяют использовать разные конструкции ЯВУ или HDL.

Данные возможности позволяют разработать систему, с помощью которой можно проверить уровень поддержки инструментальным ПО используемого языка (HDL или ЯВУ), корректность работы симулятора (RTL и нетлист), удобство использования инструментов, стабильность их работы, качество синтеза (по количеству занимаемых ресурсов и частоте работы).

Так, например, проведенные эксперименты (для трех версий синтезатора от одного поставщика), показали незначительную (до 3-5%) разницу в количестве занимаемых ресурсов. Но, при этом, были выявлены проблемы со стабильностью работы при синтезе решений для одной из исследуемых ПЛИС.

Using pipelined control code generators for tool software comparing

Ratnikov M.O., Brekhov O.M.

MAI, Moscow, Russia

During developing a modern computing system, it is impossible to do it without the use of instrumental software. It includes: hardware description language (HDL) compiler, netlist

compilers from the description in a high-level programming language (HLPL), simulator, synthesizer, firmware generator, etc.

In this paper, we propose to use a test system based on a pipelined control code generator (based on CRC or MD4) for checking and comparing tool software. Such test systems do not require large development costs, but they have a number of important advantages:

- Can be used at other stages of development, such as choosing a hardware platform, choosing a method for ensuring fault tolerance, testing the system, etc.
- Have the property of scalability, i.e. you can change the size of the test system to change the amount of hardware used without additional time costs.
- It is easy to check the correctness of the system (the results are known)
- Allow you to use different HLPL or HDL constructs.

These capabilities allow you to develop a system which can be used to check the level of tool support programming language (HDL or HLPL), the correctness of the simulation (RTL and netlist), tools usability, stability, the quality of synthesis (the number of occupied resources, area estimation and the frequency).

For example, experiments conducted (for three versions of the synthesizer from the same vendor) showed an insignificant (up to 3-5%) difference in the amount of resources used.

But, at the same time, problems were identified with the stability of work when synthesizing solutions for one of the using FPGAs.

Новый подход к решению задач информационного обеспечения беспилотных и роботизированных комплексов и способы их решения

Рыжков Б.В.

АО «ОПТРОН», г. Москва, Россия

В настоящее время всё большее и большее внимание уделяется созданию роботизированных, в том числе, беспилотных комплексов. Толчком этому послужила миниатюризация исполнительных механизмов, в первую очередь электродвигателей, в том числе шаговых, с сохранением высокой нагрузочной способности и производительности. Не менее важный вклад в развитие этой области жизнедеятельности общества внесён микроэлектроникой, на основе достижений которой стало возможным создавать высокоскоростные и высокопроизводительные управляющие комплексы. Важным является и тот факт, что современные микроконтроллеры, микро ЭВМ и исполнительные механизмы обладают прекрасными массо-габаритными характеристиками и характеризуются малым потреблением энергии.

АО «Оптрон» представляет новый способ определения собственных координат мобильным беспилотным комплексом и вариант построения наземной информационно-телекоммуникационной системы организации, контроля и управления движением беспилотных транспортных средств с обеспечением доступа удалённого оператора к управлению беспилотным транспортным средством (БТС).

Предлагаемый разностно-дальномерный способ определения координат объекта навигации основан на применении окружностей (сфер) в качестве линий (поверхностей) положения, пересечение которых определяет местоположение объекта навигации.

Преимуществом нового способа является:

- Простое аналитическое решение.
- Лучшее быстродействие.
- Однозначное определение координат.
- Точность, равная точности дальномерного способа.

Предлагаемая информационно-телекоммуникационная система позволяет обеспечить:

- Координатно-временной информацией БТС.
- Информационный обмен БТС с подразделениями, организующими и контролирующими движение.
- Доступ удалённого оператора к БТС.

Незначительная модификация составных частей системы позволяет создать систему предупреждения БТС об опасном сближении.

Предлагаемый способ и система инвариантны к типу БТС (автомобильные транспортные средства, самолёты, надводные и подводные корабли (суда), космические аппараты, в том числе при межпланетных перелётах) и окружающей среде, при использовании специализированных приёмно-передающих устройств, и может быть применена при организации массового перемещения БТС (перемещение в «стае»).

A novel approach in uncrewed vehicles navigation and the way of its realization

Ryzhkov B.V.

JSC "OPTRON", Moscow, Russia

The robotics industry, especial uncrewed vehicles (UV), is experiencing a considerable growth. There were few factors, which provides such a leap; one of them is related with development of mechanical devices. Servomotors, which are responsible for motion, became smaller, while the performance and reliability remains on the high level. Another significant contribution in the industry progress is made by electronics technology. The progress in semiconductors allows realizing fast and productive control circuits. An important factor for UV is that modern microcontrollers, microcomputers and control circuits have excellent mass and size parameters and low energy consumption. However, there were some challenges in software and hardware realization and one of actual is navigation problem. Any UV, especially high-velocity, should have an accurate, reliable, stable and simple navigation system for safe and efficient movement. Contemporary navigation systems are based on satellite navigation, LIDARs, RADARs, radio beacons; all of them have some fundamental disadvantages, which limits the UV characteristics.

Optron JSC has developed a novel approach in navigation of UV. It includes an algorithm of coordinates defining and a communication system for traffic organization with remote control function. The idea is based on couples of eye-safe laser beacons and coordinates calculation from the timing synchronization of signals from the beacons. Each UV receives an optical signal from at least three beacons, the timing synchronization allows to calculate the radius of sphere, signal creates around the beacon, and the cross point of such spheres provides the UV to calculate its coordinates. The advantages of such approach are the following:

- simple analytical solution of navigation equations provides high productivity;
- algorithm provides invariant coordinates defining;
- accuracy is comparable with LIDAR method;

The communication system allows to:

- provides UV with coordinate and timing information;
- provides communication between UVs;
- provides remote control on UVs;
- provides to prevent dangerous convergence.

The developed approach is suitable for any type of UV (ground; aerial; space and submarine) it can be easily optimized for different environment conditions and can be applied for traffic organization of huge amount of UVs (UV swarm).

Алгоритмическое обеспечение навигационного комплекса с использованием оптико-электронных измерений для перспективных беспилотных летательных аппаратов

Савкин А.В., Антонов Д.А., Колганов Л.А., Рябинкин М.С., Чехов Е.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время класс male является распространенным типом беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Основу навигационных комплексов таких аппаратов составляют, как правило, приемник глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС).

Сигналы ГНСС могут подвергаться преднамеренным (Jamming, Spoofing) помехам. Поэтому, встает задача повышения помехозащищенности навигационного комплекса такого БПЛА с целью удержания погрешностей навигационного решения в пределах заданного диапазона в условиях недоступности сигналов ГНСС.

Одним из вариантов решения поставленной задачи может являться включение в состав навигационного комплекса БПЛА дополнительной автономной оптико-электронной системы (ОЭС).

ОЭС представляет из себя гиостабилизированную или жестко закрепленную на фюзеляже камеру и средство обработки видеоизображения. В основе алгоритма функционирования ОЭС лежит обобщенное уравнение фотограмметрии. Такое уравнение позволяет связывать координаты и углы ориентации БПЛА и координаты опорных точек поверхности в некоторой декартовой системе координат через координаты опорных точек на плоскости видеоизображения.

Выбор и отслеживание опорных точек поверхности осуществляется при помощи алгоритмов детекторов и дескрипторов в видимом или инфракрасном диапазоне.

Повышение помехозащищенности навигационного решения производится за счет построения алгоритма комплексной обработки информации (КОИ) на основе измерений всех перечисленных систем. Алгоритм КОИ строится по жестковязанной схеме комплексирования на основе алгоритма оптимального фильтра Калмана.

Предложенный алгоритм КОИ позволяет оценивать не только погрешности измерений БИНС и ГНСС (когда сигналы ГНСС доступны), но и погрешности ОЭС в определении координат опорных точек на подстилающей поверхности. Результаты имитационного моделирования показывают, что предложенный алгоритм позволяет существенно уменьшить погрешности навигационного решения автономной БИНС.

Algorithms of advanced unmanned aircraft integrated navigation system with electro-optical measurements

Savkin A.V., Antonov D.A., Kolganov L.A., Ryabinkin, Chekhov E.L.
MAI, Moscow, Russia

Currently, medium-altitude long-endurance (MALE) UAVs are one of the most popular UAVs in civil applications. The main components of such UAV's navigation system, typically, are a GNSS receiver and a strapdown inertial navigation system (SINS).

In some scenarios GNSS signals may be subject to deliberate interference (jamming, spoofing). Therefore, the UAV navigation system must be able to retain an accurate navigation solution even during GNSS signals outage.

One of possible solutions of this problem is to equip the UAV with an electro-optical (EO) system.

EO system is typically comprised of a gyrostabilized or fixed body frame and a video camera. EO data processing is heavily relied on generalized equation of photogrammetry. Such an equation describes a mathematical connection between UAV's coordinates and orientation and reference points in cartesian coordinate system projected onto the video image plane.

The selection and tracking of surface reference points is carried out using common algorithms (SURF, SIFT etc.) in the visible or infrared range.

Noise immunity and accuracy improvements are achieved by utilizing optical measurements in addition to inertial and radio equipment. during GNSS signal outage and normal flight. Tightly coupled algorithm based on Kalman filter is used.

The proposed algorithm makes it possible to estimate not only the measurement errors of the SINS and GNSS (when the GNSS signals are available), but also the errors of determining reference point coordinates on the underlying surface. Simulation results show that the proposed algorithm can significantly reduce the errors of the SINS autonomous solution.

Применение космической съемки для определения зон затопления на всей территории Российской Федерации

Савосин И.В., Долгобородов Л.Е., Устинов С.М., Чистяков В.Ю.
ООО «КосКом», г. Москва, Россия

Определение и картирование зон затопления актуально как для оценки последствий наводнений, так и для расчетов и верификации вероятных зон затопления.

Решение этой задачи с помощью космоснимков затрудняют: большая периодичность съемки; облачность, характерная для периода наводнений; мутность и загрязнение вод разлившихся рек; качество съемки.

В проекте по расчету зон затопления различной вероятности в интересах страховых компаний определены зоны затопления (фактические) и контуры водных объектов в период низких уровней вод (межень).

В виде автоматических алгоритмов реализованы следующие этапы расчетов.

- Деление территории России на гидрологически однородные бассейны и подбассейны рек. Определение в каждом подбассейне гидропоста на крупной реке, либо добавление данных гидропоста из ближайшего гидрологически подобного подбассейна.

- Определение 5 периодов с максимальными уровнями воды на гидропостах по различным сезонам наводнений. Используются временные ряды ежедневных уровней воды на гидропостах.

- Подбор и загрузка снимков для подбассейнов и определенных дат наводнений с облачностью менее 25%, а также малооблачных снимков в межень.

- Коррекция снимков, включающая проверку и коррекцию метаданных снимков, атмосферную коррекцию, устранение шумов, балансировку каналов.

- Сборка мозаик из снимков на подбассейны начиная с года максимальных уровней воды и заполнение пропусков снимками за другие годы.

- Расчет водных и вегетационных индексов: NDWI, NDVI, WRI, AWEIsh, MOWI.

- Определение контуров водных объектов в межень по каждому индексу с учетом данных о контурах водных объектов, полученных с карт, а также масок склонов и ярких объектов. Принятие решения о контурах водных объектов путем мажоритарного выбора

(4 из 5).

- Векторизация поверхности водных объектов в межень.

- Определение зон затопления с учетом данных о контурах водных объектов в межень, а также масок облаков, склонов и ярких объектов. Принятие решения о контурах зон путем мажоритарного выбора.

- Векторизация зон затопления отдельно по каждому снимку.

- Сборка векторного слоя по бассейну. Каждый векторный объект содержит атрибуты: дата съемки, уровень воды на гидропосту, характеризующий масштаб наводнения.

Автоматические расчеты для всех операций реализуются в среде ГИС QGIS специально разработанными программами на языке python с библиотеками gdal/ogr, numpy, shapely. Для ускорения обработки данных используются параллельные алгоритмы и многопроцессорная организация вычислений.

Application of satellite imagery to determine flood zones throughout the Russian Federation

Savosin I.V., Dolgoborodov L.E., Ustinov S.M., Chistyakov V.Yu.

LLC "Space communications", Moscow, Russia

Determination and mapping of flood zones is relevant both for assessing the consequences of floods and for calculating and verifying probable flood zones.

The solution of this problem with the satellite images is difficult due to: long period of remote sensing; cloudiness during floods; turbidity and pollution of flooded rivers; image quality.

In the project for the calculation of flood zones of various probabilities for the insurance companies, real flood zones and contours of water bodies in low water period are determined.

The following calculation steps are implemented in automatic algorithms.

- Division of the territory of Russia into hydrologically homogeneous river basins and sub-basins. Selecting a gauging station on a large river in each sub-basin, or adding data from a gauging station from the nearest hydrologically similar sub-basin.

- Determine 5 periods with maximum water levels at gauging stations. Series of daily water levels at stations are used.

- Select and upload images for sub-basins and specific flood dates with cloudiness less than 25%, as well as low-cloud images during low-water period.
- Image correction, including validating and correcting metadata, atmospheric correction, noise removal, channel balancing.
- Assemble mosaics from images for sub-basins from the year of maximum water levels and filling in gaps with images for other years.
- Calculate water and vegetation indexes: NDWI, NDVI, WRI, AWEIsh, MOWI.
- Determine the contours of water bodies during low-water periods for each index, taking into account the data on the contours from maps, as well as masks of mountain slopes and bright objects. Making a decision on the contours of water bodies by majority choice (4 out of 5).
- Vectorization of the surface of water bodies during low water period.
- Determine flooding zones, taking into account data on the contours of water bodies in low-water period, as well as masks of clouds, mountain slopes and bright objects. Decision-making on the contours of zones by majority choice.
- Vectorization of flooded areas separately for each image.
- Assemble a vector layer for river basins. Each vector object contains attributes: acquisition date, water level at the gauging station.

Automatic calculations for all operations are implemented in the GIS QGIS by specially developed programs in the python language with the gdal/ogr, numpy, shapely libraries. To speed up data processing, parallel algorithms and multiprocessor computing are used.

О возможных причинах происшествий с летательными аппаратами

Сокольский А.М., Сокольский М.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

Согласно исследованию Boeing, с 2007 по 2019 годы больше всего происшествий с летательными аппаратами случается во время полета: 24% приходится на этап приземления и финального захода на посадку, 11% – во время движения на крейсерской (оптимальной) высоте полета, 8% во время предварительного захода на посадку и 3% – на этапе снижения. Каждая авиакатастрофа может случиться сразу из-за нескольких причин. В числе основных – человеческий фактор, ошибки пилотов.

Специфика в авиации такова, что с развитием современных самолетов, оснащенных мощной электроникой, появляется пропасть противоречий между возможностями ЛА и возможностями пилотов. Кроме того, пилоты, как лица принимающие решения, испытывают высокие психоэмоциональные нагрузки, которые также иногда дают сбой в данной системе.

Наряду с этим в процессе эксплуатации ЛА электронная аппаратура подвергается постоянному воздействию экстремальных перепадов температур и влажности, что может привести к возникновению в низковольтных электрических цепях, к которым относятся и авионика, явления электрохимическая миграция (ЭХМ).

Отказы электрохимического происхождения являются формой отказов, характерной для микроминиатюрной аппаратуры, тепловыделения в которой недостаточны для самоподсушивания, а незначительный уровень напряжений не вызывает испарения заполняющей изоляционные промежутки поверхностной пленки влаги. В результате этих процессов за несколько минут в водной среде могут образоваться нитевидные кристаллы толщиной 2...20 мкм и длиной до 12 мм. После образования перемычки кристаллы постепенно утолщаются до 0,1 мм. Сопротивление таких кристаллов может достигать до 1 Ом.

Результатом ЭХМ могут быть как сбой работы ПО авионики, так и ложное показание приборов авионики, причем после высыхания влаги в месте протекания ЭХМ определить причину сбоев в работе оборудования, практически, определить невозможно, кроме тех случаев, когда процесс приведет к полной металлизации дендритов, короткому замыканию и возгоранию ПШ.

Были проведены ряд экспериментальных исследований, на основании которых получена аналитическая зависимость, позволяющая оценить время до наступления отказа авионики в случае возникновения ЭХМ на борту ЛА.

Разработанная модель позволяет с высокой степенью вероятности рассчитать время роста дендритов, следовательно, и время наступления возможного отказа устройства авионики, при возникновении благоприятных условий для ЭХМ. Также данная модель позволяет разработать методику по борьбе с ЭХМ.

About possible causes of accidents with aircraft

Sokolsky A.M., Sokolsky M.L.

MAI, Moscow, Russia

According to a Boeing study, from 2007 to 2019, the most accidents with aircraft occur during flight: 24% occur during the landing and final approach stage, 11% – while traveling at the cruising (optimal) flight altitude, 8% during the preliminary approach and 3% — during the descent stage. Every plane crash can happen for several reasons at once. Among the main ones – the human factor, pilot errors.

Specifics in aviation is that with the development of modern aircraft equipped with high-end electronics, there is an abyss of contradictions between AIRCRAFT and capabilities of pilots. In addition, pilots, as decision makers, experience high psychoemotional loads, which also sometimes fail in this system.

Along with this, during the operation of the AIRCRAFT, electronic equipment is constantly exposed to extreme temperature and humidity changes, which can lead to the occurrence of electrochemical migration (ECM) phenomena in low-voltage electrical circuits, which include avionics.

Failures of electrochemical origin are a form of failure characteristic of microminiature equipment, in which heat generation is insufficient for self-drying, and a small level of stress does not cause evaporation of the surface film filling the insulation gaps with moisture. As a result of these processes, filamentous crystals with a thickness of 2...20 microns and a length of up to 12 mm can form in the water environment in a few minutes. After the formation of the bridge, the crystals gradually thicken to 0.1 mm. The resistance of such crystals can reach up to 1 Ohm.

The result of ECM can be either an avionics failure or a false indication of avionics devices, and after the moisture dries in the place of ECM flow, it is practically impossible to determine the cause of equipment failures, except in cases when the process will lead to complete metallization of dendrites, short circuit and fire of the PB.

A number of experimental studies were carried out, on the basis of which an analytical dependence was obtained that allows us to estimate the time before avionics failure in the event of an ECM on Board the AIRCRAFT.

The developed model makes it possible to calculate with a high degree of probability the growth time of dendrites, and therefore the time of occurrence of a possible failure of the avionics device, when favorable conditions for ECM occur. This model also allows you to develop a methodology for combating ECM.

Разработка блока электромеханических рулевых приводов на основе волнового редуктора для малогабаритного авиационного средства поражения

¹Спирин А.А., ¹Норинская И.В., ²Гуськов А.А.

¹АНПП «ТЕМП-АВИА», ²АПИ НГТУ, г. Арзамас, Россия

Разработанный блок рулевых приводов (БРП) представляет собой четырехканальную следящую систему, обеспечивающую линейное преобразование независимых входных электрических сигналов управления по каждому каналу согласно командам, выдаваемым инерциальной системой, во вращательное движение выходного звена.

Разработка электромеханического БРП – комплексная научно-инженерная задача, при решении которой необходимо было учитывать ограничения по потреблению энергии, габаритам, требования обеспечения высокой технологичности, надежности, необходимых

динамических и статических характеристик. Решение обозначенной задачи выполнено с использованием методов математического моделирования.

На основе функциональной схемы БРП и дифференциальных уравнений, описывающих работу узлов изделия, разработана имитационная параметрическая дискретная модель рулевого привода, которая представляет собой набор последовательно вызываемых функций, объединенных в управляющую программу-сценарий, реализованную на языке Matlab, и набор блоков из библиотеки Simulink. В разработанной модели параметры системы заданы в виде переменных, что позволяет унифицировать модель и реализовать в управляющей программе автоматический пересчет зависимых параметров.

В процессе проектирования БРП решена задача обоснованного выбора варианта исполнения механического редуктора, выполняющего функцию согласования моментно-скоростных характеристик электродвигателя и полезной нагрузки. Построение редуктора на основе волновой передачи позволило минимизировать габариты исполнительного механизма привода с обеспечением компенсации требуемых значений шарнирного момента, скорости, статической ошибки. Применение в составе БРП коллекторного двигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов позволило снизить себестоимость изделия.

Проведенные лабораторные испытания опытного образца БРП подтвердили адекватность разработанной модели, которая оценивалась по соответствию основных параметров БРП (перерегулирование, время и скорость приведения руля к заданному углу, статическая ошибка приведения руля и т.п.), полученных в результате моделирования и эксперимента.

Испытания опытного образца БРП на основе волнового редуктора на климатические и механические воздействия показали работоспособность изделия в заданных условиях эксплуатации.

Динамические испытания БРП с волновым редуктором при различных нагрузках на ось руля подтвердили соответствие моментно-скоростных характеристик изделия выданному техническому заданию.

Development of electromechanical steering gear unit based on waveform reductor for compact aircraft munition

¹Spirin A.A., ¹Norinskaya I.V., ²Guskov A.A.

¹ARPE "TEMP-AVIA", ²API NSSTU, Arzamas, Russia

Developed electromechanical steering gear unit is a four-channel servo-system which provides linear transformation of independent electrical control inputs along each channel according to commands output by inertial system to rotation motion of output component.

Electromechanical steering gear unit development is a complex scientific engineering problem in solving which it was necessary to consider the limits of energy consumption, dimensions, requirements for high performance, reliability, necessary dynamic and static specifications. Abovementioned problem was solved using mathematical model method.

Simulated parametrical discrete model of steering gear unit represents a series of sequentially induced functions, combined in a control program-script in Matlab language, as well as a series of modules from Simulink library. The model is developed based on block diagram of steering gear unit and differential equations, which describe unit assembly operation. The system parameters are set as variables, it allows to unify the model and realize automatic recalculation of dependent parameters in the control program.

The problem of reasonable choice of mechanical reductor design which performs the function of electric motor torque-velocity specification and operating load adjustment was solved while designing steering gear unit. Reductor design based on wave gear allowed to reduce the dimensions of gear actuating mechanism and provided compensation of required values of engine torque, velocity, static error. Commutator DC motor with permanent-magnet excitation as a part of steering gear unit allowed to decrease manufacturing cost of the item.

Laboratory testing of steering gear unit experimental model validated the developed model efficacy, it was estimated by main parameter (readjustment, time and velocity of rudder setting to assigned angle, static error of the rudder setting, etc.) compliance.

Environmental and mechanical testing of steering gear unit based on waveform reductor experimental model showed the item operational capability in specified operational conditions.

Dynamic testing of steering gear unit based on waveform reductor at different loads on rudder post validated torque-velocity specification compliance to assigned technical requirement.

Актуальность разработки методологии проектирования, изготовления и функционирования системы послепродажного обслуживания авиационной техники

Станкевич А.М., Падалко С.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Задачи, связанные с сопровождением жизненного цикла изделий в целом, и задачи, связанные с формированием систем послепродажного обслуживания (ППО) в частности, всегда были актуальны, особенно при разработке и вводе в эксплуатацию новых изделий авиационной техники (АТ), в связи с чем на текущий момент накоплен определённый опыт формирования организаций, на которые возлагается решение задач, связанных с обеспечением проектирования, производства и непрерывной эксплуатации различного рода изделий АТ.

С развитием же информационных технологий акцент при решении этих задач смещается в сторону формирования автоматизированных систем (АС), обеспечивающих поддержку процессов жизненного цикла изделий с использованием технологий информационной поддержки изделий.

Накопленный опыт в части формирования систем, обеспечивающих решение задач, связанных с сопровождением жизненного цикла изделий, в том или ином виде отражён в различных ГОСТ и специальной литературе.

Этот комплекс задач в целом связан с формированием требований и условий, в рамках которых выполняется стадия эксплуатации изделия и, в том числе, формируется и функционирует соответствующая система ППО.

На сегодняшний день предложено множество подходов к решению задач системы ППО.

Однако, анализ результатов в области решения этих задач показывает, что на данный момент задачи, возлагаемые на систему ППО, решаются, как правило автономно. Другими словами, каждая из организаций, задействованных в системе ППО старается тем или иным образом решить собственные локальные задачи, причём, достаточно часто автоматизируется деятельность отдельных подразделений организации, а не деятельность организации в целом.

В более широком смысле речь идёт о формировании нового класса автоматизированных систем, обеспечивающих решение единой задачи силами множества различных организаций, совокупность которых представляет собой единую виртуальную организацию.

Таким образом, на сегодняшний день является актуальной задача, связанная с разработкой методологии проектирования, изготовления и функционирования такого рода автоматизированных систем, в том числе и автоматизированных систем, обеспечивающих решение всего комплекса задач ППО АТ в рамках единой виртуальной организации.

The topicality of a methodology for the design, manufacture and operation of the after-sales service system for aircraft products

Stankevich A.M., Padalko S.N.

MAI, Moscow, Russia

The tasks associated with the formation of after-sales service systems (ASS) for aircraft products (AP) have always been relevant. A certain experience has been accumulated in the formation of organizations that are entrusted with solving problems related to the design, production and continuous operation of various types of AP.

With the development of information technologies, the emphasis in solving these problems is shifting towards the formation of automated systems that support the processes of the life cycle of products using technologies for information support of products.

The accumulated experience in terms of the formation of systems that ensure the solution of problems related to the maintenance of the life cycle of products is reflected in various standards and special literature.

This set of problems as a whole is associated with the formation of requirements and conditions within which the stage of operation of the product is carried out and the corresponding application software system is formed and functions.

To date, many approaches have been proposed to solve the problems of the ASS system.

However, the analysis of the results in the field of solving these problems shows that at the moment the tasks assigned to the application software system are solved autonomously. In other words, each of the organizations involved in the ASS system is trying to solve its own local problems, moreover, the activities of individual divisions of the organization are often automated, and not the activities of the organization as a whole.

In a broader sense, we are talking about the formation of a new class of automated systems that provide a solution to a single problem by the forces of many different organizations, the totality of which is a single virtual organization.

Thus, today there is an urgent problem associated with the development of a methodology for the design, manufacture and operation of this kind of automated systems, including automated systems that ensure the solution of the entire complex of tasks of ASS within a single virtual organization.

Оптимизация и развитие бизнес-процессов авиационной отрасли с помощью BPM-систем

Столярчук В.А., Бахаева Д.А., Жеребцов Р.В., Фишер М.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

Бизнес-процессы в авиационной отрасли сложны и разнообразны, требуют слаженного взаимодействия десятков людей и оперативного реагирования на все возникающие ситуации и проблемы. Такие процессы обычно формируются из нескольких этапов, на каждом из которых функционируют определенные исполнители [1].

Невозможно представить работу крупных предприятий без использования современных технологий [2, 3], в данном случае – без использования BPM (Business Process Management) систем – это класс программных продуктов, которые помогают управлять бизнес-процессами организации. BPM-системы позволяют формализовать процессы в компании, создать их графические схемы, управлять, анализировать и совершенствовать их.

Одной из таких BPM-систем является платформа Pega, позволяющая визуализировать бизнес-процессы в понятном виде и обеспечить их адаптивность. Решения на Pega BPM могут быть ориентированы на удовлетворение потребностей клиентов из разных сфер деятельности [4]. В Pega существует ряд инструментов, на которых основывается построение процессов. Два основных называются Case и Flow.

Case – структура процесса, состоящая из набора этапов, которые в свою очередь декомпозируются на шаги. Структура должна охватывать всевозможные варианты ведения процесса, его вариативность.

Flow – диаграмма функциональных блоков различных типов и коннекторов между ними. Фактически, Flow является прикладной реализацией таких методологий, как ARIS или IDEF.

С использованием этих инструментов формируется каркас приложения в соответствии с техническим заданием.

Литература:

1. Падалко С.Н. Рекомендации для консалтинга в области информатизации организаций // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 12. С. 267-270.
2. Гинзбург И.Б. Концепция построения распределенных систем информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники с использованием функционально насыщенных веб-клиентов // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №5. С. 159-161.
3. Гинзбург И.Б. Состав и архитектура взаимодействия модулей функционально насыщенного автономного веб-приложения для распределенных систем информационной

поддержки различных этапов жизненного цикла аэрокосмической техники // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №6. С. 130-133.

4. Гинзбург И.Б., Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Создание облачной отказоустойчивой информационной системы управления жизненным циклом изделий // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 12. С. 56-58.

Business processes optimization and development in the aviation industry using BPM systems

Stolyarchuk V.A., Bakhaeva D.A., Zherebtsov R.V., Fisher M.D.
MAI, Moscow, Russia

Business processes in the aviation industry are complex and diverse, requiring well-coordinated interaction of dozens of people and a prompt response to all emerging situations and problems. Such processes are usually formed from several stages, at each of which certain performers function [1].

It is impossible to imagine the work of large enterprises without the use of modern technologies [2, 3], in this case – without the use of BPM (Business Process Management) systems – this is a class of software products that help to manage the organization's business processes. BPM systems allow to formalize the company processes, create their graphical diagrams, manage, analyze and improve them.

One of these BPM systems is the Pega platform, which allows to visualize business processes in an understandable way and ensure their adaptability. Pega BPM solutions can be tailored to meet the needs of customers from different fields of activity [4]. Pega has a number of tools that process building is based on. The two main ones are called Case and Flow.

Case – is a process structure consisting of a set of stages, which in turn are decomposed into steps. The structure should cover all possible options for conducting the process, its variability.

Flow – is a diagram of functional blocks of various types and connectors between them. In fact, Flow is an applied implementation of methodologies such as ARIS or IDEF.

Using these tools, an application framework is formed in accordance with the terms of reference.

References:

1. Padalko S.N. Recommendations for consulting in the field of informatization of organizations // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2018. No. 12. pp. 267-270.

2. Ginzburg I.B. The concept of building distributed information support systems for the maintenance of aerospace technology using functionally rich web clients // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2014. No. 5. pp. 159-161.

3. Ginzburg I.B. Composition and architecture of interaction of modules of a functionally rich autonomous web application for distributed information support systems for various stages of the life cycle of aerospace technology // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2014. No. 6. pp. 130-133.

4. Ginzburg I.B., Padalko S.N., Terentiev M.N. Creation of a cloud-based fault-tolerant information system for managing the life cycle of products // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2019. No. 12. pp. 56-58.

Диагностирование технического состояния трубопроводов малого диаметра ЖРД как системное применение методов и средств

Сулейманов И.М., Мартиросов Д.С., Пастухов В.И.
НПО Энергомаш, г. Химки, Россия

К рассмотрению предлагаются выводы по целесообразности использования необходимого сочетания перспективных средств, теорий и методов в рамках систем функциональной диагностики для прогнозирования текущего технического состояния и оценки расходимого ресурса работоспособности трубопроводов (диаметра до 20 мм) гидравлических магистралей при работе ЖРД.

Анализируются промежуточные выводы об области применимости методов получения и алгоритмов обработки данных характера напряженно-деформированного состояния (НДС) труб гидравлических магистралей в условиях вибраций во время огневых натурных

испытаний. Приведены результаты тензометрических и виброметрических измерений динамических испытаний (при работе ЖРД). Такой анализ производится как в целях получения оценки надежности, так и в целях учета остаточного ресурса ЖРД, при многократном использовании элементов (двигателя) ракеты-носителя.

Обозначены типовые диагностические признаки и подобраны средства для выявления типа смешанных напряженных состояний, возникающих при комбинированном воздействии факторов кручения, изгиба, пульсации внутреннего давления в гидравлической трубопроводной магистрали. Применены алгоритмы обработки данных испытаний с применением спектральных методов. В них включены: разложение на составляющие с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ), анализ спектральной мощности в полосах частот, фазо-частотный анализ и другие. В алгоритмах оценки учтены случаи смешанных НДС (трехосного растяжения-сжатия) циклических вибрационных нагрузок по всем составляющим. Особо рассмотрены резонансные явления и их влияние на запас по усталостной прочности.

Рекомендовано дополнить разрабатываемую систему функциональной диагностики этими методами.

Diagnostics of the technical condition small-diameter pipelines of LPRE as a systematic application of methods and means

Suleymanov I.M., Martirosov D.S., Pastuhov V.I.
NPO Energomash, Khimki, Russia

Conclusions are proposed for consideration on the advisability of using the necessary combination of promising means, theories and methods within the framework of functional diagnostics systems for predicting the current technical state and assessing the consumable resource of the operability of pipelines (up to 20 mm in diameter) of hydraulic lines during operation of liquid-propellant engines.

Intermediate conclusions on the field of applicability of methods for obtaining and algorithms for processing data on the nature of the stress-strain state (SSS) of pipes of hydraulic lines under vibration conditions during firing full-scale tests are analyzed. The results of strain gauge and vibrometric measurements of dynamic tests (during operation of a liquid-propellant engine) are presented. Such an analysis is carried out both in order to obtain an assessment of the reliability, and in order to take into account the residual life of a liquid-propellant engine, with repeated use of the elements (engine) of the launch vehicle.

Typical diagnostic signs are indicated and means are selected for identifying the type of mixed stress states arising from the combined effect of torsion, bending, and pulsation of internal pressure in a hydraulic pipeline. Algorithms for processing test data using spectral methods are applied. They include: decomposition using fast Fourier transform (FFT), spectral power analysis in frequency bands, phase-frequency analysis and others. The estimation algorithms take into account the cases of mixed stress-strain state (triaxial tension-compression) cyclic vibration loads for all components. Resonance phenomena and their influence on the fatigue strength margin are especially considered.

It was recommended to supplement the developed system of functional diagnostics with these methods.

Метод ЕТУ «ЛЕТР» для нахождения МРТТ точки при случаях выхода из строя или затенения фотоэлектрических преобразователей на солнечных батареях космических аппаратов дистанционного зондирования

Сыздыков А.Б., Бактыбеков К.С.

АО «НК «Казахстан Фарыш Сапарь», г. Нур-Султан, Казахстан

Количество космических аппаратов дистанционного зондирования на низких околоземных орбитах увеличивается для обеспечения ежедневного мониторинга Земли для различных целей. На низких орбитах спутник находится на солнечной стороне ограниченное время и генерирование энергии ограничено. Возникает проблема ускоренной зарядки АБ и это обеспечивается при заряде максимальной мощностью. Система электроснабжения

космических аппаратов является одной из важнейших бортовых систем космического аппарата и представляет собой совокупность источников энергии, нагрузки и энергопреобразующей аппаратуры, обеспечивающих стабилизацию напряжения выходной шины питания нагрузки и распределение потоков энергии в соответствии с принятыми законами управления, разработанными на основе заданных условий эксплуатации КА. Одним из распространенных методов отслеживания точки с максимальной мощностью – MPPT используется в системе энергоснабжения.

Метод отслеживания точки с максимальной мощностью (MPPT), используется в системе электроснабжения космических аппаратов для выбора максимальной мощности от солнечной панели, которая зависит от многих параметров.

На данный момент существует множество MPPT алгоритмов по нахождению точки с максимальной мощностью, основные как:

- Perturbandobserve – метод возмущения и наблюдения.
- Incrementalconductance – метод дополнительной проводимости.
- Currentsweep – метод развертки по току.
- Constantvoltage – метод постоянного напряжения.
- Симплекс метод.
- Temperature method – температурный метод.

Выше приведенные алгоритмы используются в идеальных вольтамперных характеристиках, но часто возникают случаи, когда фотоэлектрические элементы выходят из строя или затенены различными элементами КА. И при таких случаях возникает много пиков, в которых алгоритмы, приведенные выше начинают не находить истинное значение максимальной мощности, а застревают на первом максимуме.

Ось напряжения делится на равные участки с шагом, кратным напряжению разомкнутой цепи солнечного элемента/последовательно соединенных фотоэлектрических преобразователей. На каждом отрезке графика с помощью метода трапеции будет определена площадь. Площади сравниваются друг с другом и определяется максимальная площадь. В области, где определена максимальная площадь определяется точка максимальной мощностью с помощью метода Perturb and observe или Incremental conductance.

ETU "LETI" method for finding the MPPT point in cases of failure or shading of solar panel photovoltaic converters of remote sensing spacecraft

Syzdykov A.B., Baktybekov K.S.

JSC "Kazakhstan Gharysh Sapary", Nur-Sultan, Kazakhstan

The number of remote sensing spacecraft in low earth orbits is increasing to provide daily monitoring of the Earth for various purposes. There is also a growing number of radar spacecraft for remote sensing that uses active payload, which requires an increase in satellite energy. In low orbits, the satellite is on the solar side for a limited time, and energy generation is limited. There is a problem with accelerated charging of the battery and this is provided when charging with maximum power. The spacecraft power supply system is one of the most important onboard

systems of the spacecraft and is a set of energy sources, loads, and energy-converting equipment that provide voltage stabilization of the output bus of the load supply and distribution of energy flows in accordance with the accepted control laws developed on the basis of the specified operating conditions of the satellite. One of the most common methods for tracking points with maximum power is MPPT, which is used in the power supply system.

The maximum power point tracking method (MPPT) is used in the spacecraft power supply system to select the maximum power from the solar panel, which depends on the angle of inclination of the solar panel, the solar panel temperature, the solar panel efficiency, the solar panel service life, and other parameters.

At the moment, there are many MPPT algorithms for finding the point with the maximum power, such as:

- Perturb and observe.

- Incremental conductance.
- Current sweep.
- Constant voltage.
- Temperature method.

The above algorithms are used in ideal current-voltage characteristics, but there are often cases when photovoltaic cells fail or are obscured by various elements of the spacecraft. And in such cases, there are many peaks in which the algorithms listed above do not find the true value of the maximum power, budget stuck at the first maximum.

The voltage axis is divided into equal sections with a step multiple of the open-circuit voltage of the solar cell/series-connected photovoltaic converters. On each segment of the graph, the area will be determined using the trapezoid method. The area is compared with each other and the maximum area is determined. In the area where the maximum area is defined, the maximum power point is determined using the Perturbation and observe or Incremental conduction method.

Разработка программы для ЭВМ для расчета и мониторинга уровня безопасности полетов поставщиков авиационных услуг

Толстых С.А.

МГТУ ГА, г. Москва, Россия

На сегодняшний день существуют различные показатели безопасности полетов. Все они рассчитываются на основе имевших место авиационных происшествий и инцидентах на предприятии в деятельности поставщиков авиационных услуг. Одним из наиболее информативным и показательным является так называемый «КРОС – коэффициент риска отклонений и событий», используемый на практике относительно недавно.

Для поставщиков авиационных услуг использование этого показателя сложно, так как расчет общего и частных КРОС, а также их мониторинг, достаточно трудоемкий процесс. В докладе представлена разработанная автором программа для ЭВМ, упрощающая данные операции.

Программа «Мониторинг КРОС (М-КРОС)» представляет собой базу данных (БД) и пользовательский интерфейс, редактирующий ее, и выводящий расчетные результаты, используя язык SQL запросов.

Трудозатраты пользователя сведены к минимуму. Пользователь обеспечивает лишь исходные данные, т.е. вводит информацию о событиях, произошедших на предприятии. Программа рассчитывает еженедельные и ежемесячные показатели КРОС, а также выполняет построение графиков и годового экрана мониторинга с нанесением предупредительных уровней в виде «Светофорной» модели. Для сглаживания еженедельных показателей добавлена возможность строить график с применением метода простого скользящего среднего.

Применение программы значительно упрощает работу с показателем КРОС на предприятии, что в свою очередь обеспечивает более эффективное управление безопасностью полетов. Программа «Мониторинг КРОС (М-КРОС)» является зарегистрированным продуктом, правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА). Подробная информация о программе, а также условия лицензионного использования, размещены на сайте правообладателя.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90215.

Development of a computer program for calculating and monitoring the safety of aviation service providers

Tolstykh S.A.

MSTU CA, Moscow, Russia

Today, there are various safety performance indicator. All are calculated on the basis of aircraft accidents and incidents at the enterprise in the activities of aviation service providers. One of the

most informative and indicative is the so-called «ERC – Event Risk Classification», which has been used in practice relatively recently.

For aviation service providers, the use of this indicator is difficult, since the calculation of general and private ERC, as well as their monitoring, is a rather laborious process. The report presents a computer program developed by the author that simplifies these operations.

The program «Мониторинг КРОС (М-КРОС)» is a database (DB) and a interface that edits it and displays the calculated results using the SQL query.

User effort is minimized. The user only provides the initial data, i.e. enters information about events that have occurred in the enterprise. The program calculates weekly and monthly ERC indicators, as well as builds graphs and an annual monitoring screen with warning levels in the form of a "Traffic Light" model. To smooth out weekly indicators, added the ability to build a graph using the simple moving average method.

The application of the program greatly simplifies the work with the ERC indicator at the enterprise, which, in turn, ensures more effective safety management. The program «Мониторинг КРОС (М-КРОС)» is a registered product, copyright holder: «Moscow State Technical University of Civil Aviation» (MSTU CA). Detailed information about the program, as well as the terms of licensed use, are posted on the website of the copyright holder.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90215.

Мобильный цифровой сухой стенд (МЦСС) для проверок САУ ГТД

Трофимов Ю.В.

АО «ОДК-Климов», г. Санкт-Петербург, Россия

Мобильный цифровой сухой стенд(МЦСС) был создан в ОДК-Климов в 2020 г. для решения задачи повышения качества полноценного тестирования и поиска сложных дефектов в современных сложных САУ авиационных ГТД, как при их производстве, так и при эксплуатации. Достигнута высокая степень подобия с реакциями ГТД, что потребовало решения задачи одновременного воздействия на САУ ГТД вектором большой размерности, состоящим из сложной комбинации аналогово-дискретных сигналов с высокими метрологическими характеристиками.

МЦСС решает 8 основных задач:

1. Многоуровневое тестирование при ее разработке новых САУ ГТД.
 2. Отбраковку САУ ГТД на простых и сложных длительных тестах при их серийном производстве.
 3. Окончательную отладку САУ ГТД на стендах и бортах.
 4. Поиск сложных дефектов в процессе эксплуатации САУ ГТД.
 5. Предварительную безопасную настройку параметров САУ ГТД, в т.ч. настройку контуров.
 6. «Борьбу с математической сложностью» задач тестирования от типового тестирования и до поиска сложных нестандартных дефектов, в т.ч. и в сложных условиях эксплуатации бортов.
 7. Задачу создания большого объема разнообразных тестов (для проверки разных САУ под разные типы ГТД) в ускоренные сроки.
 8. Существенное снижение цены МЦСС, по сравнению с аналогами.
- МЦСС решает указанные задачи используя:
- Кооперацию вычислительной мощности «Хостовой» части МЦСС с гибкой модульной гетерогенной вычислительной архитектурой внутри МЦСС. Такое компоновочное решение обеспечивают требуемую скорость и сложность создания тестов, а также безопасную (для САУ ГТД) их предварительную проверку.
 - Разнообразные инструменты пакета МАТЛАБ, включая МОП- технологию. Дополнительно, работа МЦСС на базе МАТЛАБ органично сочетается с «V-образной стратегией разработки САУ», принятой в аэрокосмической индустрии, в т.ч. по стандартам DO-178.

Эргономика системы реализована так, что МЦСС может быть использован для тестирования любых САУ ГТД произвольного уровня сложности и в любых условиях: от лаборатории или цеха до работы прямо на бортах самолетов и вертолетов одним оператором.

Mobile digital dry stand (MDDS) for checking of gas turbine engines(GTE) automatic control systems (ACS)

Trofimov Y.V.

JSC "UEC-Klimov", Saint-Petersburg, Russia

Mobile digital dry stand (MDDS) was created by JSC "UEC-Klimov" in 2020 to solve the problem of quality improving of full testing and searching for complex defects in modern complex ACS of aviation GTE, both during their production and in operation. A high degree of similarity with the reactions of a real GTE has been achieved, which required solving of the problem of the simultaneous action of a vector of large dimension, which consists of a complex combination of analog-discrete signals with high metrological characteristics, to the automatic control system of a GTE.

MDDS solves 8 main tasks:

1. Multilevel testing at development of new ACS of GTE.
2. Rejection of the GTE ACS at simple and complex long-term tests during their serial production.
3. Final debugging of the GTE ACS on the test stands and boards of aircraft and helicopters.
4. Search for complex defects during the operation of the GTEACS.
5. Preliminary safe adjustment of the parameters of the GTE ACS, incl. setting of GTE loops.
6. "Combating with math complexity" of testing tasks from routine testing to the search for complex non-standard defects in aircraft rough operating conditions.
7. The task of creation of a large volume of various tests (for testing of different ACS for different types of GTE) in a short time period.
8. A significant reduction of the MCCS price in comparison with competitors.

MDDS solves these problems using:

- Cooperation of the computing power of the Host part of the MDDS with a flexible modular heterogeneous computing architecture within the MDDS. Such IT architecture solution provides the required speed and tests creation complexity, as well as their safe(for GTE ACS) preliminary verification.
- Various tools of the MATLAB package, including MOD technology. Additionally, the work of the MDDS based on MATLAB is organically compatible with the "V-strategy" for ACS design adopted in the aerospace industry, incl. DO-178.

The ergonomics of the system is implemented in such a way that the MDDS can be used to test any GTEACS of any level of complexity and in any work conditions: from a laboratory or workshop to the work directly on aircraft and helicopters board by a single operator.

Разработка модели и алгоритма планирования информационных процессов в автоматизированной системе управления подвижными объектами

Ушаков В.А.

СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Анализ состояния исследований в области определения и оценивания областей достижимости (ОД) логико-динамической системы и их аппроксимации, описывающей управление информационными процессами (ИП) в автоматизированной системе управления (АСУ) подвижными объектами (ПО) в различные моменты времени является одной из фундаментальных проблем теории оптимального управления сложными техническими объектами (СТО) [1].

Для решения задачи оценивания и анализа показателей качества АСУ ПО применен оригинальный подход, основанный на применении аппроксимированных ОД, используя в качестве информационной основы ОД, формируемые в пространстве значимых системотехнических показателей. Пространство системотехнических параметров будет формироваться не на основе физических законов, а на основе различных технологий приема,

передачи, хранения и обработки данных. То есть, в рамках данного научного исследования, предложено осуществить переход от логико-динамического описания СТО к их многомерному геометрическому описанию.

В качестве программного обеспечения для реализации прототипа программы, выбран Mathworks Matlab. Предложено на основе данных, полученных из разработанной логико-динамической модели (ЛДМ) построить и аппроксимировать соответствующие ОД. Программно реализована ЛДМ комплексного планирования информационных процессов на динамической сети, образованной из элементов и подсистем АСУ ПДО.

Разработана и реализована на программном уровне новая ЛДМ управления ИП, включающими в себя процессы приема/передачи/обработки/хранения данных и информации. Данная модель позволяет решить одновременно задачи синтеза технологий проведения измерительно-вычислительных операций, а также объемного и календарного планирования (программного управления) рассматриваемыми процессами. В дальнейшем планируется разработать алгоритм ортогонального проектирования многомерных симплексов, задающих требуемые области значений целевых показателей на ОД, построенной ЛДМ для получения и выбора наиболее предпочтительных технологий и программ управления элементами и подсистемами АСУ ПДО, принадлежащих соответствующей области компромиссов В. Парето [1].

Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 18-08-01505 и 19-38-90221, в рамках бюджетной темы 0073-2019-0004.

Литература:

1. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.

Development a model and an algorithm for planning information processes in an automated control system for moving objects

Ushakov V.A.

SPC RAS, Saint Petersburg, Russia

Analysis state research in the field of determining and evaluating the reachability areas (RA) of a logical-dynamic system and their approximation, describing the control of information processes in an automated control system (ACS) of moving objects (MO) at various times is one of the fundamental problems in the theory optimal control of complex technical objects (CTO) [1].

To solve the problem of evaluating and analyzing the quality indicators of the ACS of MO, an original approach was applied based on the use approximated RA, using as an information basis RA formed in the space of significant system-technical indicators. The space of system-technical parameters will be formed not on the basis physical laws, but on the basis various technologies for receiving, transmitting, storing and processing data. That is, in this scientific research, it is proposed to carry out the transition from the logical-dynamic description of CTO to their multidimensional geometric description.

Mathworks Matlab was chosen as the software for the implementation the program prototype. It is proposed to construct and approximate the corresponding RA on the basis of data obtained from the developed logical-dynamic model. LDM for complex planning of information processes on a dynamic network formed from elements and subsystems of the ACS of MO is implemented in software.

A new LDM for information processes control has been developed and implemented at the software level, including the processes of receiving/transmitting/processing/storing data and information. This model makes it possible to solve simultaneously the tasks of synthesis of technologies for carrying out measuring and tasks for volumetric and calendarian planning (program control) of the processes under consideration. In the future, it is planned to develop an algorithm for the orthogonal projection of multidimensional simplices that set the required areas of values of target indicators on the RA, built by the LDM to obtain and select the most preferred

technologies and control programs for the elements and subsystems of the APC belonging to the corresponding area of compromises of V. Pareto [1].

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 18-08-01505 and 19-38-90221, state research 0073–2019–0004.

References:

1. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Intelligent technologies for monitoring and controlling the structural dynamics of complex technical objects. Moscow: Nauka, 2006.410 p.

Применение логико-лингвистического подхода при передаче звуковых данных

Фадеев М.М., Балакирев Н.Е., Фадеева М.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Голосовые данные являются не редким видом данных, передаваемых в области аэронавигации. Обмен сообщениями, к примеру, между воздушными судами и диспетчерами, должен иметь минимальные задержки при отправке и получении. Также, необходимо постоянно проводить запись переговоров экипажа, что может занимать много памяти в устройствах бортовых самописцев. Не касаясь этих вопросов со стороны физического процесса передачи данных, следует отметить, что на программной стороне воспроизводится большая часть обработки данных, от которой и зависит, как и в каком виде будут передаваться и храниться данные.

Звуковые данные, и, в частности, речь, как правило, требуют большего пространства памяти. Их размер зависит напрямую от длительности сообщений. Потому, объём звуковых данных играет значительную роль при передаче данных, так как пропускная способность канала может быть недостаточной для качественной передачи данных. Применение алгоритмов сжатия обеспечивает выигрыш в объёме, но нагружает машины дополнительными вычислениями.

В качестве решения этого вопроса предлагается использование логико-лингвистического подхода при обработке звуковых данных. Данный подход позволяет рассматривать звуковой поток не как массив числовых данных, представляющих значения амплитуд на фиксированных интервалах времени, а как структуры, отражающей информационное содержание звукового потока. Получаемые структуры требуют меньшего объёма памяти для записи и, как следствие, требуют меньше аппаратных ресурсов для их хранения и накладывает меньше требований на канал связи. Обратная операция восстановления по таким структурам позволяет получить звуковой поток, практически не отличимый от исходного. Дополнительно легко реализуемо нанесение «водяных знаков» на такой поток, которое обеспечивает контроль за утечкой информации.

Уже на данном этапе разработки программный продукт, ориентированный на это направление исследования волн, позволил уплотнить запись речевой информации в 2,5-10. Ближайшие перспективы связаны с увеличением этих показателей от 20-50 раз и более.

В связи с необходимостью хранения больших объемов информации при фиксации переговоров в черных ящиках авиационных и космических аппаратов, то следует ожидать значительного эффекта экономии денежных средств в случае применения разработанных средств. Дальнейшие исследования могут расширить круг применения разрабатываемых алгоритмов и повысить эффективность их использования.

Using a logical-linguistic approach for the transmission of audio data

Fadeev M.M., Balakirev N.E., Fadeeva M.V.

MAI, Moscow, Russia

Voice data is not a rare form of data transmitted in the field of air navigation. Messaging, for example between aircraft and traffic controllers, should have minimal delays in sending and receiving. Also, it is necessary to constantly record the crew's conversations, which can take up a lot of memory in the flight recorder devices. Without touching on these issues from the side of the physical process of data transmission, it should be noted that most of the data processing is reproduced on the software side, on which it depends how and in what form the data will be transferred and stored.

Audio data, and speech, generally requires more storage space. Their size depends directly on the duration of the messages. Therefore, the volume of audio data plays a significant role in data transmission since the channel bandwidth may be insufficient for high-quality data transmission. The use of compression algorithms provides savings in memory consumption, but burdens computers with additional calculations.

As a solution to this issue, it is proposed to use a logical-linguistic approach when processing audio data. This approach allows us to consider the audio stream not as an array of numerical data representing the values of amplitudes at fixed time intervals, but as a structures that reflects the information content of the audio stream. The resulting structures require less memory for writing and, as a result, require less hardware resources to store them and impose fewer requirements on the communication channel. The reverse operation of restoration on such structures allows obtaining a audio stream that is practically indistinguishable from the original. Additionally, it is easy to implement the application of "watermarks" on such stream, which provides control over information leakage.

Already at this stage of development, a software product focused on this direction of wave research made it possible to condense the recording of speech information by 2.5-10 times. The nearest prospects are associated with an increase in these indicators from 20-50 times or more.

Due to the need to store large amounts of information when recording conversations in the black boxes of aircraft and spacecraft, one should expect a significant effect of saving money in the case of using the developed tools. Further research can expand the range of use of the developed algorithms and increase the efficiency of their use.

Использование технологий виртуальной реальности в САПР

Харитоненков А.И., Хорошко А.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время непрерывное развитие в области 3D моделирования позволило перенести значительный объём работ в жизненном цикле изделия из натуральных испытаний в компьютерное моделирование. Компьютерное моделирование – представляет собой класс методов исследования, при котором изучаемая система заменяется компьютерной моделью, которая с высокой точностью описывает реальную систему. Данный подход к моделированию вылился в ряд различных САПР систем, используемых в широком спектре областей производства, в том числе в авиационной, робототехнике и других отраслях. Технология дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR) позволяют расширить возможности данных систем. Главная цель VR и AR состоит в том, чтобы создать цифровой опыт в реальном времени, имитирующий полное разрешение человеческого восприятия. Приложения Дополненной реальности позволяют интегрироваться в реальную среду и взаимодействовать с ней, используя 3D модели, посредством машинно-генерируемых сенсорных вводов (изображения, видео, GNSS, и т. д.). Виртуальная реальность (VR) является иммерсивным мультимедийным методом, заменяющим реальный мир виртуальным, где физическое присутствие моделируется. Также одной из сильных сторон виртуальной реальности является способность позволить людям взаимодействовать друг с другом на расстоянии. Несмотря на то, что данные технологии не получили всеобщее распространение, существует множество VR разработок, которые делают ставку на удаленное сотрудничество и работу из дома в виртуальной среде. Технология VR может предложить пользователям большой инструментарий для расширения возможностей компьютерного моделирования, но из-за высокой стоимости оборудования, технология не получила массового распространения, в связи с этим и приложения для данных устройств не пользуются большим спросом.

Using virtual reality technologies in CAD

Kharitonov A.I., Khoroshko A.L.

MAI, Moscow, Russia

Currently, the continuous development in the field of 3D modeling has made it possible to transfer a significant amount of work in the product life cycle from natural tests to computer

modeling. Computer modeling is a class of research methods in which the system under study is replaced by a computer model that describes the real system with sufficient accuracy. This approach to modeling has resulted in a number of different CAD systems used in a wide range of production areas, including aircraft, robotics and other industries. Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) technology can expand the capabilities of these systems. The main goal of VR and AR is to create a real-time digital experience that mimics the full resolution of human perception. Augmented reality applications allow you to integrate into the real environment and interact with it using 3D models, through machine-generated sensor inputs (images, video, GNSS, etc.). Virtual reality (VR) is an immersive multimedia method that replaces the real world with a virtual one where a physical presence is simulated. Besides, one of the strengths of virtual reality is the ability to allow people to interact with each other at a distance. Despite the fact that these technologies have not gained widespread acceptance, there are many VR developments to rely on, remote collaboration and work from home in a virtual environment. VR technology can offer users a wide range of tools to expand the capabilities of computer modeling, but due to expensive equipment, the technology has not received mass distribution, and therefore applications for these devices are not in great demand.

Алгоритм удержания сервисного модуля относительно обслуживаемого космического аппарата на геостационарной орбите

Хоанг Ву Тан

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается задача удержания сервисного модуля (СМ) системы обслуживания геостационарных спутников связи относительно целевого модуля (ЦМ) в процессе инспекции.

Считается, что в начальный момент времени СМ находится в окрестности цели, совмещение плоскостей орбит проведено на этапе приведения СМ в окрестность рабочей позиции ЦМ. Управление движением центра масс СМ осуществляется двигателями малой тяги с ориентацией вдоль осей связанной орбитальной системы координат, работающим в старт-стопном режиме. ЦМ является кооперируемым и не совершает маневров во время инспекции.

Потребная для управления информация о параметрах орбит СМ и ЦМ получается от бортовой автономной навигационной системы с достаточной точностью. Таким образом, имеется возможность решения задач синтеза управления движением центра масс СМ по полным данным.

Цель решения задачи синтеза заключается в формировании алгоритма расчета интервалов между коррекциями и приращений характеристической скорости, который обеспечит принадлежность вектора состояния объекта заданному множеству в течение заданного времени инспекции.

Модель движения СМ относительно ЦМ получается путем линеаризации исходной математической модели движения с учетом возмущений в малой окрестности опорной круговой орбиты заданного радиуса. В состав модели включаются уравнения разности среднего отклонения долготы, относительной скорости дрейфа и относительного эксцентриситета. Долгота восходящего узла и аргумент перигея орбит постоянны.

Предварительный анализ неуправляемого относительного движения показал, что имеется два способа размещения СМ относительно ЦМ. В первом случае он расположен либо за ЦМ, либо впереди него. Во втором случае реализуется относительная траектория облета цели. По результатам анализа сформированы ограничения на разность эксцентриситетов орбит и разность среднего отклонения долготы между СМ и ЦМ, которые необходимо обеспечить в процессе удержания.

Алгоритм удержания СМ относительно ЦМ разработан с использованием достаточных условий оптимальности управления в линейно-квадратичной постановке в сочетании с допущением о наличии установившегося режима. Работоспособность алгоритма удержания подтверждается результатами численного моделирования полной системы нелинейных

уравнений движения с учетом нецентральности гравитационного поля Земли, гравитации Луны и Солнца, а так же ошибок навигации.

Algorithm to control servicing module in collocation with target in GEO

Hoang Vu Tan

MAI, Moscow, Russia

The problem of control service module (SM) of the geostationary communications satellite service system in collocation with target module (TM) during the inspection is considered.

It is assumed that at the initial moment of time, the SM is in the vicinity of the TM, and the alignment of the orbital planes is performed at the stage of transferring the SM to the vicinity of the position of the TM. The movement of the center of mass of the SM is controlled by low-thrust engines with orientation along the axes of the associated orbital coordinate system, operating in start-stop mode. The TM is co-operative and does not perform maneuvers during the inspection.

The information needed to control the parameters of the orbits of the SM and the TM is obtained from the on-board autonomous navigation system. Thus, it is possible to solve the synthesis problems of controlling the motion of the center of mass according to complete data.

The purpose of the control is to determine the intervals between keeping corrections, the values of the characteristic velocity increments at each of the corrections, which ensure that the state vector of the SM belongs to a given set taking into account errors in predicting relative motion and performing corrections during a given observation time.

The model of motion of the CM in collocation with TM is obtained by linearization of the original mathematical model of motion, taking into account perturbations in a small vicinity of the reference circular orbit of a given radius. The model includes equations for the difference in the mean deviation of longitude, relative drift velocity, and relative eccentricity. The longitude of the ascending node and the perigee argument of the orbit are constant.

Analysis of uncontrolled motion of the SM relative to the TM shows that there are 2 two ways to place the SM relative to the TM: in the first case SM is located either behind the TM or in front of it; In the second case, the SM flies around the target. Based on the results of the analysis, restrictions are formed on the difference in orbital eccentricities and the difference in the average deviation of longitude between SM and TM, which must be provided during the keeping process.

Based on the developed model and analysis of the uncontrolled motion of the SM relative to the TM, an algorithm for keeping the SM relative to the position of the TM is developed. The functionality of the algorithm is confirmed by the results of numerical modeling.

Оценка и прогнозирование деформации в многослойных печатных структурах

Хомутская О.В., Медведев А.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Современная электроника создается на основе печатных плат (ПП), представляющих многослойную структуру, состоящую из диэлектрического основания и проводящего рисунка. Одно из главных требований, предъявляемых к современной электронике, — улучшение массогабаритных показателей и компоновочных характеристик изделия. С целью удовлетворения этого требования многослойные печатные платы (МПП) постоянно усложняются, увеличивается плотность межслойных соединений. Однако это неизбежно связано с уменьшением размеров элементов, которые необходимо совмещать между собой.

Это приводит к возникновению проблемы пространственного совмещения контактных площадок слоёв под переходные отверстия. Проблема рассовмещения вызвана изменением размеров и деформации базового композитного материала подложки в слое и погрешностями технологического характера.

Снизить количество дефектов позволяет предварительная оценка деформации с помощью моделирования поведения композитного материала в ходе процесса изготовления изделия и внесения корректив по результатам моделирования в проектные решения печатной платы и технологический процесс на этапе работы в автоматизированной системе технологической подготовки производства МПП.

Для снижения погрешности рассовмещения элементов межсоединений разработана методика автоматизированной оценки деформации в многослойных печатных структурах, а также разработана математическая модель для прогнозирования значения деформации слоя.

Предварительная оценка деформации композиционного материала в ходе процесса изготовления печатной платы и внесение корректив по результатам моделирования в проектные решения и технологический процесс с помощью моделирования на этапе работы в автоматизированной системы технологической подготовки производства МПП позволяет значительно снизить количество дефектов за счет снижения вероятности рассовмещения элементов пространственных структур.

В работе проведен анализ современного состояния и основных тенденций развития микроэлектронных компонентов и автоматизации производства монтажных подложек радиоэлектронной аппаратуры.

Разработанная методика оценки деформации и алгоритм её реализации позволяют снизить суммарную величину деформации после проведения всех операций технологического процесса до 31%. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства высшего образования и науки России, номер темы FSFF-2020-0015.

Deformation assessment and prediction in multilayer printing structures

Khomutskaya O.V., Medvedev A.M.

MAI, Moscow, Russia

Modern electronics is created on the basis of printed circuit boards (PCBs), which represent a multilayer structure consisting of a dielectric base and a conductive pattern. One of the main requirements for modern electronics is to improve the weight and size parameters and layout characteristics of the product. In order to meet this requirement, multilayer printed circuit boards (MPP) are constantly becoming more complex, the density of interlayer connections is increasing. However, this is inevitably associated with a decrease in the size of the elements, which must be combined with each other.

This leads to the problem of spatial alignment of the contact pads of the layers for the vias. The problem of misalignment is caused by a change in the dimensions and deformation of the base composite material of the substrate in the layer and by technological errors.

Reducing the number of defects allows preliminary deformation assessment by simulating the behavior of the composite material during the manufacturing process of the product and making adjustments based on the simulation results in the design solutions of the printed circuit board and the technological process at the stage of work in the automated system for the technological preparation of the MPP production.

To reduce the error in misalignment of interconnect elements, a technique for automated assessment of deformation in multilayer printed structures has been developed, and a mathematical model has been developed to predict the value of layer deformation.

A preliminary assessment of the deformation of the composite material during the process of manufacturing a printed circuit board and making adjustments based on the results of modeling in the design solutions and the technological process using modeling at the stage of work in the automated system for the technological preparation of the MPP production can significantly reduce the number of defects by reducing the likelihood of misalignment of elements of spatial structures.

The developed method for assessing deformation and algorithm for its implementation make it possible to reduce the total amount of deformation after all operations of the technological process to 31%. The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FSFF-2020-0015).

Разработка, моделирование и прототипирование твердотельных деталей БПЛА сложной геометрической формы в программном продукте Blender 3D

Хорошко А.Л., Хорошко Л.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном мире высокие темпы развития технологий проектирования и создания трехмерных моделей позволили автоматизировать и упростить процессы моделирования при

разработке различных проектов. На сегодняшний день программные продукты такие как 3Ds Max, Maya, Blender 3D, 3D Coat и многие другие, позволяют применять широкий спектр инструментов для создания твердотельных, высокодетализированных трехмерных моделей для использования в различных направлениях деятельности человека, в том числе при проектировании беспилотных летательных аппаратов. Программы трехмерного моделирования оптимизируют процесс разработки элементов конструкций БПЛА, что не только позволяет упростить создание макета, но и подобрать оптимальные параметры объекта, разработать уникальный дизайн.

В ходе работы были проанализированы различные программные продукты, а также проведен сравнительный анализ, включающий такие параметры как:

- Доступность.
- Открытость программного кода, для разработки различных скриптов, позволяющих упростить и автоматизировать процесс моделирования.
- Функциональность и гибкость программы при выполнении различных задач в ходе разработки проекта.
- Доступность материалов для самостоятельного обучения.
- Простота и удобство использования.

В результате проведенного анализа, был выбран программный продукт Blender 3D. Blender 3D не только соответствует параметрам сравнительного анализа, но и опережает прочие программные продукты по многим возможностям, в том числе при создании промо-видео, для дальнейшего продвижения продукта.

Таким образом, используя программный продукт Blender 3D, были поэтапно разработаны, спроектированы и смоделированные пространственные тела сложной геометрической формы и многоуровневые 3D модели отдельных элементов конструкций и сборочных узлов сложного технического изделия. Результатом работы стали визуализированные 3D-модели отдельных элементов конструкции БПЛА, создан прототип с применением технологий трехмерной печати, а также разработан промо-ролик демонстрирующий основные возможности и технические характеристики БПЛА.

Development, modeling and prototyping of hard surface parts of UAVs of complex geometric shapes in the Blender 3D software product

Khoroshko A.L., Khoroshko L.L.
MAI, Moscow, Russia

In the modern world, the high rates of development of design technologies and the creation of three-dimensional models have made it possible to automate and simplify the modeling processes in the development of various projects. Today, software products such as 3Ds Max, Maya, Blender 3D, 3D Coat and many others allow using a wide range of tools to create solid, highly detailed three-dimensional models for use in various areas of human activity, including the design of unmanned aerial vehicles. Three-dimensional modeling programs optimize the development of UAV structural elements, which not only makes it possible to simplify the creation of a model, but also to select the optimal parameters of the object, and develop a unique design.

In the course of the work, various software products were analyzed, and a comparative analysis was carried out, including such parameters as:

- Availability.
- Openness of the program code, for the development of various scripts to simplify and automate the modeling process.
- Functionality and flexibility of the program when performing various tasks during project development.
- Availability of materials for self-study.
- Simplicity and ease of use.

As a result of the analysis, the software product Blender 3D was selected. Blender 3D not only meets the parameters of benchmarking analysis, but is also ahead of other software products in many ways, including when creating a promotional video for further product promotion.

Thus, using the Blender 3D software product, we have developed, designed and modeled spatial bodies of complex geometric shapes and multi-level 3D models of individual structural elements and assembly units of a complex technical product in stages. The result of the work was visualized 3D models of individual elements of the UAV structure, a prototype was created using three-dimensional printing technologies, and a promotional video was developed showing the main capabilities and technical characteristics of the UAV.

Автоматизация канала управления скоростью при дозаправке самолета в воздухе

Чебакова А.А., Ганяк О.И., Ткаченко О.И.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

В настоящее время для увеличения дальности и продолжительности полёта самолётов применяется дозаправка топливом в воздухе. Дозаправка самолета в ручном управлении по всем каналам управления является одним из самых сложных и напряженных режимов пилотирования для летчика и требует от него высокой квалификации и длительных тренировок.

Особенно это усложняется рядом негативных факторов, таких как:

- Воздействие спутного следа самолета-заправщика на заправляемый самолёт.
- Турбулентность воздушного потока и т.д.

С помощью автоматизации удастся повысить вероятность успешного контакта по сравнению с ручным управлением (для лёгких самолётов, например, примерно в 2 раза). Одним из разгружающих летчика направлений, упрощающих этот процесс, может быть автоматизация канала управления скоростью.

В работе рассматривается алгоритм управления скоростью на всех этапах режима дозаправки самолета в воздухе:

- Подходе самолета к заправщику.
- Непосредственно процесса контактирования штанги и конуса.
- Выход в рабочее положение для перекачки топлива.
- Отход от заправщика (танкера) по окончании заправки.
- Повторный заход для контактирования при ошибке выполнения контакта штанги и конуса.

Алгоритмы предполагают наличие информации об относительном положении заправляемого самолета и танкера на всех, указанных выше этапах процесса дозаправки.

Данную информацию предполагается обеспечить за счёт применения системы технического зрения, которая должна позволить определить расстояние от штанги до конуса и УПАЗа танкера.

Automation of the aircraft's speed control channel during aerial refueling

Chebakova A.A., Ganyak O.I., Tkachenko O.I.

TsAGI, Zhukovsky, Russia

Currently, aerial refueling is used to increase the range and duration of aircraft flight. Refueling the aircraft in manual actuation through all control channels is one of the most difficult and stressful modes of piloting for the pilot and requires high qualification and long training.

This is especially complicated by negative factors such as:

- Impact of a tanker's aircraft trail on a refueling aircraft.
- Airstream turbulence, etc.

Automation can increase the probability of successful contact compared to manual actuation (for example, for light aircraft for about 2 times). Automation of the speed control channel can be one of the areas that relieve the pilot and simplify this process.

This report discusses the speed control algorithm at all stages of the aircraft refueling mode:

- Approach of the refueling aircraft to the tanker.
- The process of contacting the hose and cone.
- Exit to the working position for pumping fuel.
- Leaving the tanker at the end of refueling.
- Re-factory for contacting when the hose and cone contact failed.

The algorithms assume that there is information about the relative position of the refueling aircraft and tanker at all stages of refueling.

This information is supposed to be provided through the use of technical vision systems, which should allow to determine the distance from the hose to the cone and to the tanker's UPAZ.

Авиационный пилотажный стенд

Чемоданов В.Б., Антонов И.М., Мелоков С.А., Колбасов В.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из актуальных задач внедрения пилотажных стендов в учебный процесс, а также для привлечения абитуриентов в вузы авиационно-технической направленности является создание компактных мобильных устройств, близких по своему функционированию к авиасимуляторам, но допускающих моделирование динамических свойств и движения ЛА различных типов.

В рамках поставленной задачи был изготовлен стенд на основе реальных органов управления ранее выпускавшегося реактивного ЛА.

Аппаратная часть стенда состоит из:

- Имитационного стенда системы управления самолетом, включающего в себя ручку управления самолетом, рычаг управления двигателем и педали.

- Трёх потенциометрических датчиков, снимающих показания непосредственно с органов управления.

- Контроллера передающего показания датчиков на системный блок.

- Системного блока и монитора, закреплённого на стойке и поворачивающегося на 180 градусов для удобства настройки.

- Камеры, с программным комплексом обработки поворота лица, для изменения обзора на экране.

Программное обеспечение ПК разработано в среде Simulink и включает в себя два работающих в реальном времени в режиме пакета проекта. Первый преобразует поступающие сигналы с контроллера в параметры газа и углы по тангажу, крену и рысканью. Второй проводит моделирование и отображает результат моделирования в авиасимуляторе FlightGear.

Система работоспособна, что было подтверждено серией тестирований. Модульность системы обеспечивает гибкость, наращиваемость и простоту ремонта.

Одним из дальнейших улучшений рассматривается возможность совмещения стенда с технологией AR – дополненной реальности, для возможности отображения показателей приборов.

Mobile- base flight simulator

Chemodanov V.B., Antonov I.M., Melyukov S.A., Kolbasov V.N.

MAI, Moscow, Russia

One of the urgent tasks of implementing flight stands in the educational process, as well as to attract applicants to higher education Institutions of aviation and technical orientation, is to create compact mobile devices that are similar in their functioning to flight simulators, but allow modeling the dynamic properties and movement of various types of aircraft.

AS part of the task, a stand was made based on real controls of a previously produced jet aircraft.

The hardware part of the stand consists of:

- Simulation stand of the aircraft control system, which includes the aircraft control handle, engine control lever and pedals.

- Three potentiometric sensors that take readings directly from the controls.

- Controller that transmits sensor readings to the system unit.

- System unit and monitor mounted on a rack and rotated 180 degrees for easy setup.

- Cameras with a software package for processing face rotation to change the view on the screen.

The PC software is developed in the Simulink environment and includes two real-time project packages. The first one converts incoming signals from the controller into gas parameters and pitch,

roll, and yaw angles. The second one performs the simulation and displays the simulation result in the FlightGear flight simulator.

The system is functional, which was confirmed by a series of tests. The modularity of the system provides flexibility, stackability, and ease of repair.

One of the further improvements is the possibility of combining the stand with AR technology – augmented reality, for the ability to display instrument indicators.

Нейролингвистическое прогнозирование и управление в искусственном интеллекте

Черкай А.Д., Муравьев А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время при решении задач прогнозирования и управления в искусственном интеллекте активно используются нейронные сети. Они позволяют решать эти задачи при отсутствии четких математических моделей, но при наличии данных о поведении и реакциях рассматриваемых объектов прогнозирования и управления, так как нейронная сеть обладает способностью решения задач аппроксимации произвольных функций, что обеспечивает эффективное использование этих систем при решении рассматриваемых задач. При этом в нейронных сетях всегда ищутся решения, с минимальными среднеквадратическими ошибками, однако они не всегда достигают глобального минимума.

При решении этих задач находят применение также лингвистические методы обработки и анализа данных, реализация которых базируется на использовании формальных лингвистических моделей для их обработки, анализа, прогнозирования динамических процессов и управления. Особенность этих моделей и методов для прогноза и управления состоит в использовании не всех данных подряд, а только тех из них, которые близки к данным по которым осуществляется прогноз и управление. Использование такого меньшего набора данных приводит к уменьшению времени получения результата и повышению точности прогноза и управляющих воздействий.

В данном докладе рассматриваются возможности программной реализации нейролингвистического прогнозирования и управления в искусственном интеллекте с использованием BIG DATA, состоящей в совместном применении нейронных сетей и лингвистических методов обработки больших данных, обеспечивающих дополнительное повышение точности результатов прогноза и управления.

Neurolinguistic forecasting and management in artificial intelligence

Cherkay A.D., Muravyev A.S.

MAI, Moscow, Russia

At present, when solving forecasting and management problems in artificial intelligence, neural networks are actively used. They allow solving these problems in the absence of clear mathematical models, but in the presence of data on the behavior and reactions of the forecasting and management objects. Since the neural network has the ability to solve problems of approximation of arbitrary functions, which ensures the effective use of these systems in solving the problems under consideration. Neural networks are always looking for solutions with minimal mean square errors, but they do not always reach the global minimum.

When solving these problems, linguistic methods of data processing and analysis are also used, the implementation of which based on the use of formal linguistic models for their processing, analysis, forecasting dynamic processes and management. The peculiarity of these models and methods for forecasting and management consists in using not all data in a row, but only those that are close to the data for which forecast and management carried out. The use of such a smaller data set leads to a decrease in the time to obtain a result and an increase in the accuracy of the forecast and management actions.

This report discusses the possibilities of software implementation of neurolinguistic forecasting and management in artificial intelligence using BIG DATA, which consists in the combined use of neural networks and linguistic methods, which provide an additional increase in the accuracy of forecast and management results.

Разработка и программная реализация методики подбора и расчета параметров систем промышленного кондиционирования

¹Чумакова Е.В., ²Харитонов А.Б.

¹МАИ, ²ООО «Даичи», г. Москва, Россия

Последнее время системы кондиционирования воздуха стали неотъемлемой частью практически любых объектов, таких как аэропорты, торговые центры, современные офисные комплексы и т.п., в которых необходимо обеспечить поддержание комфортных условий нахождения людей, а также все возможных технологических помещений, требующих поддержания определенного уровня температур. Помимо того, что характеристики объектов и требования к системам кондиционирования весьма разнообразны, микроклимат в помещении определяется не только температурой, но в значительной степени влажностью воздуха. С одной стороны, кондиционирование приводит к осушению воздуха и в результате отличию температуры от заявленной производителем. С другой стороны, на влажность и температуру внутри помещения оказывают влияние работа вентиляции, установленная техника и присутствие людей. Определение микроклимата помещения и правильный подбор оборудования системы кондиционирования требует применения универсальной методики и алгоритмов подбора, которая учитывала бы указанные особенности.

Предложенная в работе методика определяет, как повлияет установленное оборудование системы кондиционирования на влажность в помещении, а также позволяет получить точные значения теплоступлений в помещение и холодопроизводительности кондиционеров.

Методика включает расчет теплопритоков, привносимых в помещение, с учетом различных источников поступления тепла и влаги. Для упрощения вычислений все параметры заданы в виде поправочных коэффициентов, в зависимости от назначения помещения. Для количественной оценки теплопритоков предложена зависимость от двух переменных: температуры в помещении и влажности. Уравнение для определения холодопроизводительности и характеристик кондиционеров представляет собой полином второй степени от двух переменных: температуры наружного воздуха и температуры в помещении (по мокрому термометру), таблицы исходных данных для которых предоставляют производители оборудования. Совместное аналитическое решение уравнений теплопритоков и кондиционирования стало возможно благодаря введению дополнительных параметров для кондиционирования (энтальпия и др.).

На базе методики разработана программная система, которая прошла успешную апробацию на оборудовании трех различных производителей.

Development and software implementation of a methodology for the selection and calculation of parameters of industrial air conditioning systems

¹Chumakova E.V., ²Kharitonov A.B.

¹MAI, ²OOO "Daichi", Moscow, Russia

Recently, air conditioning systems have become an integral part of almost any facility, such as airports, shopping centers, modern office complexes, etc., in which it is necessary to maintain comfortable conditions for people, as well as all possible technological rooms that require maintaining a certain temperature level. In addition to the fact that the characteristics of objects and the requirements for air conditioning systems are very diverse, the microclimate in a room is determined not only by temperature, but largely by air humidity. On the one hand, air conditioning leads to dehumidification of the air and, as a result, the temperature differs from the one declared by the manufacturer. On the other hand, the operation of ventilation, the installed equipment and the presence of people affect the humidity and temperature inside the room. Determination of the microclimate of a room and the correct selection of air conditioning equipment requires the use of a universal method and selection algorithms that would take into account these features.

The method proposed in the work determines how the installed equipment of the air conditioning system will affect the humidity in the room, and also allows you to get accurate values of heat input into the room and the cooling capacity of air conditioners.

The methodology includes the calculation of heat gains brought into the room, taking into account various sources of heat and moisture. To simplify calculations, all parameters are specified in the form of correction factors, depending on the purpose of the room. For a quantitative assessment of heat flows, a dependence on two variables is proposed: room temperature and humidity. The equation for determining the refrigerating capacity and characteristics of air conditioners is a polynomial of the second degree in two variables: outdoor temperature and room temperature (wet bulb), for which source data tables are provided by equipment manufacturers. The joint analytical solution of the equations of heat flow and conditioning became possible due to the introduction of additional parameters for conditioning (enthalpy, etc.).

Based on the methodology, a software system has been developed, which has been successfully tested on equipment from three different manufacturers.

4. Информационно-телекоммуникационные технологии авиационных, ракетных и космических систем

4. Information and Telecommunication Technology of Aviation, Rocket and Space Systems

Разработка интерактивной информационно-справочной системы по логике индикационного обеспечения летательного аппарата

Ампиллов В.И., Верещака С.К., Волков И.К.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном мире обучение летного и инженерно-технического состава боевого самолёта является сложнейшей, а также дорогостоящей задачей. Авиационные компании в условиях конкуренции создают свои собственные автоматизированные системы обучения (АСО). Так, на предприятии АО РСК «МиГ» используется интерактивная автоматизированная система обучения (ИАСО) собственной разработки, предназначенная для теоретической и практической подготовки лётного и инженерно-технического состава и решения комплекса задач, связанных с эксплуатацией и обслуживанием самолётов. Но для конкурентоспособности ИАСО с другими АСО требуется постоянная модернизация данной системы.

Для решения данной проблемы была поставлена задача модернизации ИАСО, а именно, разработка новой интерактивной информационно-справочной системы индикационного обеспечения самолета МиГ-35. Новая система позволяет летному составу изучить и понять расположение индикационных показаний на многофункциональных индикаторах (МФИ) в кабине самолёта. Также разработанная система позволяет летному составу осознать логику работы МФИ в летательном аппарате (ЛА), а всплывающие подсказки дают дополнительную информацию об объектах, находящихся на индикационном кадре МФИ.

Для достижения поставленной задачи были использованы:

- Adobe Illustrator – с помощью данного инструмента была прорисована индикация МФИ;
- Unity – на данной платформе собиралась индикация, экспортированная из Adobe Illustrator, а с помощью встроенных компонентов собирался и настраивался кадр МФИ;
- C# – язык программирования, использовавшийся для написания скриптов.

По итогу разработанная система показала хорошие результаты. В дальнейшем планируется разработка всего индикационного обеспечения кабины самолета и внедрения этого обеспечения в виртуальную кабину ЛА.

Литература:

1. «МиГ»: полёт сквозь время / Е.В. Арсеньев, Н.О. Валуев, Ю.Ф. Полушкин. – М.: Рекламное Агентство АлексВ, 2020. В двух томах. Том 2. – 642с.
2. Научно-технический журнал «Авиакосмическая техника и технология AEROSPACE TECHNOLOGY №4 (76)» / под ред. Э.Н. Дудар. – М.: Российская инженерная академия, 2014.

Development of interactive information and reference system based on the logic of indication support of an aircraft

Ampilov V.I., Vereschaka S.K., Volkov I.K.

MAI, Moscow, Russia

In the modern world the training of flight crew members and engineering personnel of a combat aircraft is a difficult task and it is rather expensive. On the competitive market aviation companies develop their own automated training systems. Thus, the Russian Aircraft Corporation “MiG” uses the interactive automated training system of its own design. This system is intended to be used for theoretical and practical training of flight crew members and engineering personnel and for solution

of aircraft and maintenance tasks. But in order to be competitive, this system should be upgraded regularly.

The following task has been set: to develop a new interactive information and reference system of the aircraft "MiG-35" indication support. The new system allows flight crew members to study and understand the position of indicating data on multifunctional indicators in a cabin. Also it helps the crew understand the logic of multifunctional indicators work in an aircraft and screen tips give additional information about the objects which are on the display frame.

To fulfil the task the following tools have been used:

- Adobe Illustrator – with the help of this tool the display of the multifunctional indicators was drawn.

- Unity – on this platform the display exported from Adobe Illustrator was collected and the MFI frame was collected and configured using the built-in components.

- C# – computer programming language used for script writing.

The developed system has shown good results. In the future the development of the whole indication support of the cabin and its implementation into a virtual cabin is planned.

References:

1. "MiG": polet skvoz vremya / E.V. Arsenjev, N.O. Valuev, U.F. Polushkin. – M.: Reklamnoe Agenstvo AlexV, 2020. In two volumes. V. 2. – 642 p.

2. Scientific and technical journal "Aerospace technology" № 4 (76) edited by E.N. Dudar. – M.: Russian Academy of Engineering, 2014.

Сравнение методов оценки задержки сверхкороткоимпульсных сигналов

Бальклейский Ф.В., Харламов А.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Радиолокационные станции (РЛС) со сверхкороткоимпульсными зондирующими сигналами (СКИ ЗС) находят применение в системах подповерхностного зондирования, системах охраны, в системах обнаружения целей за оптически непрозрачными преградами. При приеме отраженных от цели сигналов производится первичная обработка радиолокационной информации, заключающаяся в обнаружении сигнала, отраженного от цели и измерении задержки принимаемого сигнала (расстояния до цели).

Измерение задержки принимаемых сигналов данного типа имеет некоторые особенности, связанные с сильным искажением формы и многомодовым характером принимаемого сигнала. Во многих источниках показано, как именно преобразуется СКИ ЗС в процессе отражения от цели при различных ракурсах для различных целей. При анализе алгоритмов определения расстояния используются описанные в литературе преобразования над СКИ ЗС при отражении от целей. Набор целей включает в себя металлический шар, плоскую металлическую пластину и угловый отражатель. Основной задачей при анализе способов измерения задержки является определение отклонения оценки расстояния (задержки) до цели от расстояния до геометрического центра цели и выявление влияния отношения сигнал/шум на оценку расстояния (задержки).

В работе проведено полунатурное моделирование, заключающееся в следующем: исходным сигналом, над которым проводятся математические преобразования для синтеза отраженного сигнала от конкретной цели, является выходной сигнал генератора СКИ, записанный при помощи цифрового широкополосного осциллографа. Отраженный сигнал синтезируется путем математических преобразований, описанных в литературе, исходного записанного сигнала. Было записано несколько типов СКИ ЗС (знакопеременный и униполярный) с длительностями от 3 до 15 нс. В работе рассмотрены различные способы определения расстояния (задержки принимаемого сигнала) до цели:

- По максимуму взаимнокорреляционной функции (ВКФ) отраженного сигнала и ЗС.
- По центру масс ВКФ.
- По максимуму сигнала на выходе энергетического обнаружителя (ЭО).
- По центру масс сигнала на выходе ЭО.
- По максимуму модуля комплексной огибающей принимаемого сигнала.

В работе дана оценка влияния отношения сигнал/шум на результат измерения расстояния до цели. Вычисление огибающей, с использованием широкополосного преобразования Гильберта, позволяет устранить многомодовый характер отражений от точечных отражателей, тем самым позволяет разрешить отраженные сигналы от локальных центров рассеяния сложной цели.

Comparison of methods for evaluating the delay of ultrashort pulse signals

Balykleyskiy F.V., Kharlamov A.N.

MAI, Moscow, Russia

Radar stations with ultra-short-pulse (USP) signals are used in subsurface sensing systems, security systems. When receiving signals reflected from the target, the primary processing of radar information is carried out, which consists in detecting the signal reflected from the target and measuring the delay of the received signal.

Measurement of the delay of received signals of this type has some peculiarities associated with severe distortion of the shape and the multimode nature of the received signal. Many sources show exactly how the USP is transformed in the process of reflection from a target at different angles for different purposes. When analyzing the algorithms for determining the distance, the transformations described in the literature over the USP with reflection from targets are used. The target set includes a metal ball, a flat metal plate, and a corner reflector. The main task in the analysis of methods for measuring the delay is to determine the deviation of the estimate of the distance to the target from the distance to the geometric center of the target and to identify the influence of the signal-to-noise ratio on the estimate of the distance

The work carried out a semi-natural simulation, which consists in the following: the initial signal, over which mathematical transformations are carried out to synthesize the reflected signal from a specific target, is the output signal of the USP generator, recorded using a digital wideband oscilloscope. The reflected signal is synthesized by mathematical transformations described in the literature on the original recorded signal. Several types of USP were recorded (alternating and unipolar) with durations from 3 to 15 ns. The paper considers various methods for determining the distance to the target:

- At the maximum of the cross-correlation function (CCF) of the reflected signal and original signal.
- By the center of mass of the CCF.
- At the maximum signal at the output of the energy detector (ED).
- By the center of mass of the signal at the ED output.
- At the maximum of the complex envelope of the received signal.

The paper provides an assessment of the influence of the signal-to-noise ratio on the result of measuring the distance to the target. Calculation of the envelope, using the broadband Hilbert transform, eliminates the multimode nature of reflections from point reflectors, thereby allowing the reflected signals from local scattering centers of a complex target to be resolved.

Сетевая информационно-справочная система по бортовым измерительным средствам на основе web-технологий

Белобжеский Л.А., Салихов А.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

Разработка представляет собой дистанционную информационно-справочную систему, позволяющую с использованием WEB-технологий оперативно получать нужную техническую информацию как разработчикам авиационно-космических приборных комплексов, так и студентам соответствующих специальностей.

- Готовый продукт удовлетворяет следующим требованиям:
- Предоставление информации в удобном для пользователя виде.
 - Возможность дистанционного доступа к системе с удаленных персональных компьютеров пользователей, имеющих доступ к интернету.
 - Многокритериальный поиск данных по авиационно-космическим измерительным средствам.

- Обеспечение надежности хранения данных.

Разработка представляет из себя два блока:

Серверная часть – база данных по бортовым приборам и датчикам, была реализована в СУБД MySQL, для администрирования используется веб-приложение phpMyAdmin, в качестве веб-сервера использован nginx.

Клиентская часть – приложение для просмотра, поиска, редактирования и добавления данных, реализована посредством языка гипертекстовой разметки HTML, языка стилей CSS, языков программирования JavaScript и PHP.

Важным аспектом разработки является обеспечение безопасности и надежности хранения данных, для этого были реализованы следующие решения:

- Авторизация пользователей с присвоением им различных полномочий в зависимости от их статуса.
- Наличие роли модератора, ответственного за проверку достоверности информации.
- Регулярное резервное копирование данных.

В информационно-справочной системе реализован многокритериальный поиск, с возможностью поиска как датчиков и приборов совместно, так и по отдельности.

Дистанционный доступ к веб-приложению имеется у любого пользователя с доступом к интернету. Интерфейс веб-приложения прост и интуитивно понятен, таким образом пользователи с разным уровнем подготовки могут эффективно работать с БД.

На данный момент в разработанном проекте имеется более 200 измерительных устройств с разделением их по типам измеряемого параметра, погрешности, диапазону измерения, средам измерения, областям применения, технологиям изготовления, принципам действия и т.п.

Тестовая версия веб-приложения расположена по адресу <http://v98513lq.beget.tech> на серверах компании beget.

Networked information and reference system for onboard measuring instruments based on web technologies

Belobzheskiy L.A., Salikhov A.R.
MAI, Moscow, Russia

The development is a remote information and reference system that allows using WEB-technologies to quickly receive the necessary technical information both for the developers of aerospace instrumentation systems and for students of the relevant specialties.

The finished product meets the following requirements:

- Providing information in a user-friendly form.
- Possibility of remote access to the system from remote personal computers of users with access to the Internet.
- Multi-criteria data search for aerospace measuring instruments.
- Ensuring the reliability of data storage.

Development consists of two blocks:

The server part – a database of aircraft instruments and sensors, was implemented in the MySQL DBMS, the phpMyAdmin web application is used for administration, and nginx is used as a web server.

The client part is an application for viewing, searching, editing and adding data, implemented using the HTML hypertext markup language, CSS style language, JavaScript and PHP programming languages.

An important aspect of the development is to ensure the safety and reliability of data storage, for this the following solutions were implemented:

- Authorization of users with assignment of various powers depending on their status.
- Having the role of a moderator responsible for verifying the accuracy of information.
- Regular data backup.

A multi-criteria search is implemented in the information and reference system, with the ability to search for sensors and devices together, or separately.

Anyone with access to the Internet has remote access to the web application. The web application interface is simple and intuitive, so users with different skill levels can effectively work with the database.

At the moment in the developed project there are more than 200 measuring devices with their division according to the types of the measured parameter, error, measurement range, measurement media, application areas, manufacturing technologies, operating principles, etc.

A test version of the web application is located at <http://v98513lq.beget.tech> on beget's servers.

Рупорная антенна для беспилотного летательного аппарата малого класса

Васин А.А., Терехин О.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Разработка антенной системы для беспилотных летательных аппаратов малого класса (МБПЛА) является весьма сложной задачей из-за противоречивых требований, предъявляемых к ней: с одной стороны, это необходимость получения малых массогабаритных характеристик и низкой стоимости изготовления, а с другой стороны, высокая прочность и жесткость конструкции и достижение широкой рабочей полосы частот.

Целью исследования является обзор существующих вариантов реализации МБПЛА и анализ требований, предъявляемых к характеристикам их антенных систем, а также разработка модели рупорной антенны, предназначенной для установки на летательный аппарат (ЛА) указанного класса.

Антенные устройства могут устанавливаться как снаружи, так и внутри ЛА. Устанавливая антенну снаружи ЛА, разработчик должен обеспечить обтекаемость и защиту устройства от внешних неблагоприятных условий, что ведет к дополнительным трудностям при проектировании антенны. При размещении антенного устройства внутри ЛА необходима минимизация габаритных характеристик антенного устройства ввиду ограниченного объема фюзеляжа.

В литературе встречаются различные подходы к построению антенных систем для установки на ЛА: зеркальные антенны, рупорные и печатные излучатели. На основе проведенного анализа для установки на МБПЛА была выбрана рупорная антенна, установленная снаружи ЛА, ввиду обеспечения малых массогабаритных характеристик, жесткости конструкции и согласования в широкой полосе частот по уровню КСВ не более 2. В рамках данной работы были подробно исследованы в рабочей полосе частот такие характеристики разработанной модели, как диаграмма направленности в двух главных плоскостях, частотные зависимости коэффициента отражения и коэффициента усиления.

Horn antenna for small unmanned aerial vehicle

Vasin A.A., Terekhin O.V.

MAI, Moscow, Russia

The development of an antenna system for unmanned aerial vehicles of a small class (MUAV) is a very difficult task due to the conflicting requirements imposed on it: on the one hand, it is the need to obtain small weight and size characteristics and low manufacturing costs, and on the other hand, high strength and rigidity design and achieving a wide operating frequency band.

The aim of the study is to review the existing options for the implementation of MUAV and analyze the requirements for the characteristics of their antenna systems, as well as to develop a model of a horn antenna intended for installation on an aircraft of the specified class.

Antenna devices can be installed both outside and inside the aircraft. When installing the antenna outside the aircraft, the developer must provide streamlining and protection of the device from external adverse conditions, which leads to additional difficulties in the design of the antenna. When placing the antenna device inside the aircraft, it is necessary to minimize the overall characteristics of the antenna device due to the limited volume of the fuselage.

In the literature, there are various approaches to the construction of antenna systems for installation on aircraft: mirror antennas, horn and printed radiators. On the basis of the analysis carried out, a horn antenna installed outside the aircraft was selected for installation on the MUAV, due to the provision of small mass and size characteristics, structural rigidity and coordination in a

wide frequency band at a VSWR level of no more than 2. Within the framework of this work, such characteristics of the developed model, such as a directional pattern in two main planes, frequency dependences of the reflection coefficient and the gain.

Расчет параметров РЛС для обеспечения посадки БПЛА

Вищукаев А.В., Чумагина Ю.И.

МАИ, г. Москва, Россия

С развитием беспилотных летательных аппаратов (БЛА) возникает задача их автоматизированного взлета, посадки и управления полетом, в том числе в городских условиях. Предлагается использовать малогабаритную радиолокационную станцию (РЛС), определяющую местоположение и скорость БЛА при заходе на посадку и передающую полученную информацию оператору или в систему управления БЛА о необходимости совершения маневра для совершения успешной посадки на подготовленную площадку. После обнаружения БПЛА в зоне действия РЛС, проводится перехват управления БПЛА и процесс посадки БПЛА на заданную площадку по сигналам РЛС. Для высокоточного измерения координат БПЛА предлагается использовать РЛС в диапазоне 77 ГГц.

В работе произведен расчет необходимых зон обзора РЛС для дальности действия 300 метров. Размер зоны обзора составил по азимуту 60-100 градусов, по углу места 30 градусов, точность определения координат должна составлять 0.2 м/с по скорости, 0.3 м по дальности.

Пригодной для использования в данной системе может быть автомобильная РЛС класса Delphi ESR. Она обладает небольшим весом (575 грамм) и габаритами (90.2x173.7x49.2 мм), потребляемая мощность 18 Вт, управление по CAN-шине. Расчет системы управления (перехвата) БПЛА по каналу радиосвязи не проводился.

Отработка алгоритмов обнаружения БПЛА и команд управления реализуется на промежуточной (50 МГц для РЛС) и радиочастоте (2.4 ГГц для канала управления БПЛА) с использованием векторного приемо-передатчика NI PXIe-5646, программируемых источников питания NI PXIe-4112, 4113, имитатора CAN интерфейса NI PXI-8513, шасси NI PXI-1085, контроллер NI PXI-8135.

Оснащение зарядной беспроводной станции радиотехнической системой посадки позволит повысить автономность и исключить ошибки приземления за счет использования существующих каналов управления БПЛА с необходимой точностью.

Calculation of radar parameters to ensure UAV landing

Vitsukaev A.V., Chumagina Y.I.

MAI, Moscow, Russia

With the development of unmanned aerial vehicles (UAVs), the task of their automated take-off, landing and flight control arises, including in urban environments. It is proposed to use a small-sized radar station (radar), which determines the location and speed of the UAV during the approach and transmits the received information to the operator or to the UAV control system about the need to perform a maneuver to make a successful landing on the prepared site. After the UAV is detected in the radar coverage area, the UAV control is intercepted and the UAV landing process on a given site according to the radar signals. For high-precision measurement of UAV coordinates, it is proposed to use a radar in the 77 GHz range.

In this work, the calculation of the required radar coverage areas for a range of 300 meters was made. The size of the view area was 60-100 degrees in azimuth, 30 degrees in elevation, the accuracy of determining the coordinates should be 0.2 m / s in speed, 0.3 m in range.

A Delphi ESR class vehicle radar may be suitable for use in this system. It has a light weight (575 grams) and dimensions (90.2x173.7x49.2 mm), power consumption 18 W, CAN bus control. The calculation of the control system (interception) of the UAV via the radio communication channel was not carried out.

Development of UAV detection algorithms and control commands is implemented at an intermediate (50 MHz for radar) and radio frequency (2.4 GHz for a UAV control channel) using an NI PXIe-5646 vector transceiver, NI PXIe-4112, 4113 programmable power supplies, and a CAN interface simulator NI PXI-8513, NI PXI-1085 chassis, NI PXI-8135 controller.

Equipping the wireless charging station with a radio-technical landing system will increase the autonomy and eliminate landing errors by using the existing UAV control channels with the required accuracy.

Ошибки пеленгования излучателей, обладающих фазоугловой зависимостью

Волков А.М., Юдин В.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Угловое направление на точечный источник излучения может быть определено по величине разности фаз колебаний на выходах приемных антенн, размещенных в пространстве. Такой принцип используют фазовые радиопеленгаторы, широко применяемые в радиотехнике.

Ошибки, возникающие при разностно-фазовом пеленговании источника излучения, вызваны влиянием следующих факторов: возможной неоднозначностью определения углового направления, внешних условий (среда распространения радиоволн, подстилающая поверхность, отражения от различных объектов, расположенных в зоне действия пеленгатора) и других.

Данная работа посвящена изучению вопроса о влиянии на ошибку разностно-фазового пеленгования фактора наличия у пеленгуемого источника излучения зависимости фазы излучаемой волны от углового направления в плоскости пеленгования. Такая фазоугловая зависимость обычно имеет место у многоточечных и пространственно-протяженных излучателей, поле излучения которых в любой точке пространства формируется как результат интерференции, при этом имеют место искривления линии фазового фронта суммарной волны. Вопрос о влиянии фазоугловой зависимости на точность разностно-фазового пеленгования изучен в настоящее время недостаточно.

Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы при анализе ошибок пеленгования излучателей, обладающих фазоугловой зависимостью, в частности, парных и многоточечных излучателей. Кроме того, эти результаты представляют интерес с точки зрения протivoдействия пеленгованию различных источников излучения.

Bearing errors for emitters with phase-angle dependence

Volkov A.M., Yudin V.N.

MAI, Moscow, Russia

The angular direction to a point radiation source can be determined by the magnitude of the phase difference of the oscillations at the outputs of the receiving antennas, spaced apart in space. This principle is used by phase direction finders, which are widely used in radio engineering.

Errors arising in the phase difference direction finding of the radiation source are caused by the influence of the following factors: possible ambiguity in determining the angular direction, external conditions (radio wave propagation medium, underlying surface, reflections from various objects located in the direction finder's area of operation), and others.

This work is devoted to the study of the influence on the error of phase difference direction finding of the factor of the dependence of the phase of the emitted wave on the angular direction in the direction finding plane in the direction finding radiation source. Such a phase-angle dependence usually takes place in multipoint and spatially extended emitters, the radiation field of which at any point in space is formed as a result of interference, while curvature of the phase front line of the total wave takes place. The question of the influence of the phase-angle dependence on the accuracy of the phase-difference direction finding is currently insufficiently studied.

The results obtained in this work can be used to analyze the direction finding errors of emitters with a phase-angle dependence, in particular, paired and multipoint emitters. Moreover, these results are of interest from the point of view of counteracting direction finding of various radiation sources.

Исследование по созданию комплекса регистрации данных

Волков Д.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

Исследование по созданию комплекса регистрации данных. Характеристика исследований, связанных с подготовкой работы над комплексом регистрации данных:

В данной работе предполагается исследовать методику создания комплекса регистрации данных для повышения эффективности сбора, сохранения и передачи каналами связи информации о космических телах путем создания модуля регистрации данных.

В предлагаемой теме изложена методика проектирования нового модуля регистрации данных, использующий новейшие методы сбора, сохранения и передачи информации не требующий значительных массовых и экономических затрат.

В данной работе будут решаться следующие задачи:

- 1) Обоснование тактико-технических требований к модулю регистрации данных.
- 2) Выбор рационального конструктивно-компоновочного модуля регистрации данных.
- 3) Выбор ракетного носителя для модуля регистрации данных.
- 4) Обоснование рационального набора целевого оборудования, включая выбор системы наведения модуля, выбор двигательной установки.

Новизна и необходимость исследования данного направления заключается в следующем:

Разработка модуля регистрации данных несёт в себе два положительных аспекта.

Первый – повышение эффективности измерения и регистрации данных с космических тел. Второй – вариативность способов регистрации, сохранения и передачи информации на поверхность Земли.

Данные измерения проводятся в условиях следующих ограничений:

- 1) облачность в районах размещения измерительных пунктов;
- 2) передача информации должна производиться в условиях обязательного шифрования;
- 3) высоты передачи информации;
- 4) отсутствие помех.

Study on the creation of a data logging complex

Volkov D.R.

MAI, Moscow, Russia

Research on the creation of a data logging complex. Characteristics of studies related to the preparation of work on the data registration complex:

In this paper, it is proposed to investigate the methodology for creating a data registration complex to improve the efficiency of collection, storage and transmission of information about space bodies by communication channels by creating a data registration module.

The proposed topic describes a methodology for designing a new data logging module, using the latest methods for collecting, storing and transmitting information that does not require significant mass and economic costs.

In this work, the following tasks will be solved:

- 1) Justification of the tactical and technical requirements for the data logging module.
- 2) The choice of a rational structural and layout module for data logging.
- 3) The choice of the rocket carrier for the data logging module.
- 4) Justification of a rational set of target equipment, including the choice of the module guidance system, the choice of the propulsion system.

The novelty and the need for research in this area is as follows:

The development of a data logger has two positive aspects.

The first is to increase the efficiency of measuring and recording data from space bodies.

The second is the variability of methods of registration, storage and transmission of information to the surface of the Earth.

These measurements are carried out under the following restrictions:

- 1) cloudiness in the areas where measuring points are located;
- 2) the transfer of information must be carried out in conditions of mandatory encryption;

- 3) information transfer heights;
- 4) no interference.

Смещение полосы сигнала под прикрытием помехи

Григорян А.К., Юдин В.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

В теории радиоэлектронной борьбы принято полагать, что тактико-технические параметры подавляемой и излучаемой систем сопоставимы, в связи с чем, успешное радиоэлектронное подавление или защита напрямую зависят от эффективности принятых мер каждой из сторон. Получив преимущество навязывания того или иного сценария адаптации параметров сигнала и системы в рамках радиоэлектронной борьбы, позволяет достичь поставленной протекционной или деструктивной цели. Изучая общие подходы к ведению радиоэлектронной борьбы, такие как:

1. Адаптация по направлению помехи.
2. Перестройка частоты в широком диапазоне.
3. Мощностное подавление.

Предлагается новый подход адаптации в частотной области, называемый как "уход под прикрытием помехи".

Основным принципом этого подхода является перестройка полосы частот полезного сигнала защищаемой системы в полосу, смежную с полосой помехи. Такая перестройка частоты допустима в случае, когда постановщик помех организует помеху на частоте передачи сигнала подавляемого объекта и одновременно сканирует незадействованные частоты, ожидая перестройки на другие частоты защищаемого объекта. Но так как происходит перестройка под прикрытием помехи, а именно на прилегающие частоты по отношению к помехе, обнаружить такой маневр является не тривиальной задачей, так как помеха, создаваемая постановщиком, не позволяет различить более слабый сигнал на фоне помехи, но защищаемой стороне позволяет эффективнее выделить сигнал под прикрытием помехи, чем если центральная частота сигнала совпадала бы с центральной частотой помехи. Такой метод является особенно эффективным, в случае если защищаемая система может организовать передачу сигнала в полосе частот значительно меньшей чем широкополосный постановщик помех.

Signal band offset under the cover of interference

Grigoryan A.K., Yudin V.N.

MAI, Moscow, Russia

In the theory of electronic warfare, it is assumed that the tactical and technical parameters of the suppressed and radiated systems are comparable, and therefore, successful electronic suppression or protection directly depends on the effectiveness of the measures taken by each of the parties. Having the advantage of imposing a particular scenario for adapting the signal and system parameters within the framework of electronic warfare, it allows you to achieve the set protective or destructive goal. Studying General approaches to electronic warfare, such as:

1. Adaptation in the direction of interference
2. Frequency tuning in a wide range
3. Power suppression,

a new approach to adaptation in the frequency domain, called "leaving under the cover of interference", is proposed.

The main principle of this approach is to adjust the frequency band of the useful signal of the protected system to the band adjacent to the interference band. Such frequency tuning is acceptable if the jammer arranges interference at the signal transmission frequency of the suppressed object and simultaneously scans unused frequencies, waiting for tuning to other frequencies of the protected object. But since there is a rearrangement under cover of the noise, namely on the adjacent frequency to the interference, to detect such a maneuver is not a trivial task, since the disturbance created by the Director does not allow to allocate more than a weak signal against the background noise, but the protected side you can better determine the signal under cover of the

noise, than if the Central frequency of the signal coincides with the Central frequency of the interference. This method is particularly effective if the protected system can transmit a signal in a frequency band significantly lower than the broadband jammer.

Структуризация информации о неизвестном протоколе передачи данных на основе обнаруженных пакетов

Джум В.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Протоколы связи позволяют общаться двум разным сущностям. Для реализации обратной совместимости с устройством или аудита безопасности протокола нужны разные уровни детализации протокола и разное его описание. Когда такое описание протокола недоступно, возможным вариантом является исследование протокола для выяснения формата его сообщений или построения модели. В настоящее время существует множество приложений, которые упрощают данное исследование.

Процесс выявления формата сообщения направлен на идентификацию пакетов одного типа и их структуры. Процесс выявления протокольного языка (грамматики) нацелен на реконструкцию правил, описывающих обмен сообщениями из последовательности пакетов. Ниже будут рассмотрены такие приложения и используемые в них методы.

Первое рассматриваемое средство, PI Project, нацелено только на анализ формата сообщений с использованием алгоритма биоинформатики Нидлмана-Вунша для соотношения последовательности байтов у пары сообщений.

Далее следует ScriptGen. Оно способно создавать набор скриптов, которые эмулируют сетевой протокол, установленные на сервере, для honeypot, используемого в атаке Honeyd. Scriptgen требует анализа грамматики протокола. Разделение сообщений на классы выполняется автоматически с учётом порогового значения. Заключение основано на регулярном языке. Результирующая модель-это детерминированный конечный автомат, который содержит наиболее часто используемые ответы, которые возвращает сервер.

Последним рассматриваемым средством является Netzob, разработанный для моделирования ботнет сетей. Авторы использовали вариант автомата Мили для моделирования грамматики протокола путем добавления информации о времени, прошедшем между двумя наблюдаемыми сообщениями. Такая грамматика изучается с помощью активного подхода, основанного на алгоритме L*. Далее автоматы делают недетерминированными, добавляя вероятность отправки сообщения с учетом состояния и полученного сообщения. В качестве алгоритма анализа и классификации сообщений используется алгоритм Нидлмана-Вунша.

Целью будущей работы является структуризация информация о неизвестном протоколе, т.е. построение модели грамматики протокола. С этой целью в работе будут рассмотрены методы, которые используются в таких приложениях как Netzob и PI Project, а именно: алгоритм биоинформатики Нидлмана-Вунша и алгоритм L*.

Unknown communication protocol data structurization based on detected packets

Dghum V.S.

MAI, Moscow, Russia

Communication protocols allow two different entities to communicate. To implement backward compatibility with a device or security auditing of a protocol, different levels of protocol detail and description are required. When such a protocol description is not available, a possible option is to examine the protocol to find out the format of its messages or build a model. Currently, there are many applications that simplify this research.

The message format detection process aims at identification of packets of the same type and their structure. The protocol language (grammar) discovery process aims at reconstructing the messages exchange rules from a sequence of packets. Below we will consider such applications and the methods used in them.

The first tool under consideration, the PI Project, focuses only on message format analysis using the Needleman-Wunsch bioinformatics algorithm to correlate the byte sequence of a message pair.

The next is ScriptGen. It is capable of creating a set of scripts that emulate the network protocol installed on the server for the honeypot used in the Honeyd attack. Scriptgen requires parsing the grammar of the protocol. The division of messages into classes is performed automatically based on the threshold value. The conclusion is based on regular language. The resulting model is a deterministic state machine that contains the most commonly used responses that the server returns.

The last tool under consideration is Netzob, which is designed to simulate botnet networks. The authors used a variant of the Mealy machine to simulate the grammar of the protocol by adding information about the time elapsed between two observed messages. Such a grammar is learned using an active approach based on the L* algorithm. Then the machines are made non-deterministic by adding the probability of sending a message taking into account the state and the received message. The Needleman-Wunsch algorithm is used as an algorithm for analyzing and classifying messages.

The aim of the work is to structure information about an unknown protocol, i.e. construction of the protocol grammar model. To do so the work will consider the methods that are used in applications such as Netzob and PI Project, namely: the Needleman-Wunsch bioinformatics algorithm and the L* algorithm.

Измерение параметров фазоманипулированного сигнала в условиях помех с использованием циклостационарных свойств

Ефимов А.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Развитие современных телекоммуникационных устройств привело к ужесточению требований к радиочастотному спектру. Дефицит свободных частот в спектре становится одной из главных проблем для дальнейшего развития беспроводных технологий. Увеличение числа одновременно работающих устройств в одной или близких областях радиочастотного спектра часто приводит к созданию непреднамеренных помех. Для увеличения числа абонентов, делящих между собой одну и ту же полосу спектра, применяются как радиотехнические средства селектирования, так и пространственные, основанные на управлении диаграммой направленности антенной системы и таким образом не допускающие излучения сигнала в одной частотной полосе в одной и той же области пространства разными устройствами.

Современные радиотехнические устройства независимо от их расположения и назначения имеют дело не с чистым сигналом, а со смесью сигнала и шумов. В некоторых задачах параметры искомого сигнала могут быть не до конца известны или помеха может быть представлена нежелательным сигналом с неизвестными параметрами. Выделение сигнала из смеси сигнала и шума или определение неизвестных параметров сигнала, в том числе типа модуляции, битовой скорости и т.п. может быть произведено при помощи циклостационарных характеристик сигнала.

Решение проблемы нахождения параметров сигнала может быть использовано для определения типа и характеристик подключенных устройств в когнитивном радио, синхронизации и декодировании сигнала с изначально неизвестными параметрами. Так же становится возможным определение направления прихода сигнала с последующей подстройкой диаграммы направленности антенной системы. С учетом развития антенной техники и широкополосных сетей передачи данных вопрос выделения определенного сигнала, помехового или полезного, приобретает важное значение. Использование циклостационарных свойств сигнала при определении направления прихода сигнала позволяет получить лучшие характеристики, чем классические методы, например, MUSIC.

В статье проведен анализ возможности корреляционной обработки с целью определения направления прихода сигнала для приемника с разнесенной антенной при приеме циклостационарного сигнала. Анализ проведен для сигнала с фазовой модуляцией BPSK и QPSK. Данный подход позволяет на первом этапе выделить требуемый сигнал из смеси сигнал-шум и определить его параметры. Приведены результаты моделирования с учетом наличия шумов.

Measurement of the phase manipulated signal parameters signal under interference using cyclostationary properties

Efimov A.G.

MAI, Moscow, Russia

The development of modern telecommunication devices has led to stricter requirements for the radio frequency spectrum. Deficiency of available frequencies in the spectrum becomes a major problem for the further development of wireless technologies. Increasing the number of concurrent devices in the same or related areas of the radio spectrum often leads to the creation of unintentional interference. To increase the number of subscribers sharing the same spectrum band, both radio-technical and spatial selection means are used, based on the directional diagram of the antenna system and thus preventing the emission of a signal in the same frequency band in the same region of space by different devices.

Modern radio engineering devices, regardless of their location and purpose, deal not with a pure signal, but with a mixture of signal and noise. In some applications the desired signal parameters may not be fully known, or interference may be represented by an unwanted signal with unknown parameters. Isolation of a signal from the mixture signal and noise or the determination of the unknown signal parameters, including modulation type, bit rate, etc. can be produced using the cyclostationary characteristics of the signal.

The solution to the problem of finding signal parameters can be used to determine the type and characteristics of connected devices in cognitive radio, synchronize and decode a signal with initially unknown parameters. It also becomes possible to determine the direction of arrival of the signal with the subsequent adjustment of the antenna system radiation pattern. Taking into account the development of antenna technology and broadband data transmission networks, the issue of identifying a specific signal, interfering or useful, becomes important. The use of cyclostationary properties of the signal when determining the direction of signal arrival allows you to get better characteristics than classical methods, for example, MUSIC.

The article analyzes the possibility of correlation processing in order to determine the direction of signal arrival for a receiver with a diversity antenna when receiving a cyclostationary signal. The analysis is performed for a signal with phase modulation BPSK and QPSK. This approach allows at the first stage to select the required signal from the signal-to-noise mixture and determine its parameters. The simulation results are given taking into account the presence of noise.

Способ построения измерительного базиса для определения азимутальной ориентации динамического моделирующего стенда Actidyn "ST2356C"

Зимин Р.Ю., Веремеенко К.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из основных способов обеспечения, требуемых точностных характеристик инерциальных навигационных систем (ИНС), является калибровка их измерительных датчиков, выполняемая с применением прецизионных динамических моделирующих стендов, оснащаемых термокамерами. На базе кафедры 305 Московского авиационного института создана «Лаборатория испытаний инерциальных навигационных систем», располагающая научно-исследовательским оборудованием, обеспечивающим калибровку всех основных типов современных инерциальных измерительных систем в широком температурном диапазоне.

В состав лаборатории входит высокоточный двухосный динамический стенд Actidyn "ST2356C" [1], обладающий возможностью моделировать угловые параметры траектории движения в диапазоне 600 град./сек. для внутренней и 1800 град./сек. для внешней оси. Точность по углу составляет 1 угл. сек (1 СКО), по скорости 0,001% для внутренней и 0,05% для внешней оси. Встроенная термокамера позволяет задавать температуру в диапазоне от – 65°С до +90°С.

Обеспечение возможности проведения полного спектра испытаний ИНС различных классов точности, требует выполнения периодических измерений азимутальной ориентации

осей системы координат стенда. Анализ приведенных в литературе методов калибровки ИНС показал, что ошибка азимутальной привязки не должна превышать 5 град. [2].

Для решение поставленной задачи с учетом ограничений, вызванных расположением динамического стенда в помещении малой площади, предложен способ построения компактного измерительного базиса определения азимутальной ориентации с применением технологий промышленной геодезии. Способ основан на измерении угловой ориентации размещаемого на поворотном столе стенда зеркала автоколлимационным способом с применением высокоточного безотражательного тахеометра, координаты которого определяются методом дальномерно-угломерных измерений на сферические отражатели, располагаемые на стенах помещения лаборатории и имеющие ранее определенные геодезические координаты. Расчетная погрешность измерения азимута стенда с применением предложенного метода не превышает 22 угл. сек.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0015.

Литература:

1. https://mai.ru/science/equipment/index.php?SECTION_ID=1292&ELEMENT_ID=30784

2. Шаймарданов И.Х., Методика стендовой калибровки бесплатформенных инерциальных навигационных систем различного класса точности, диссертация на соискание ученой степени к.т.н., 2019.

Method of constructing a measuring base for determining the azimuthal attitude of the dynamic modeling testbench Actidyn "ST2356C"

Zimin R.Y., Veremeenko K.K.

MAI, Moscow, Russia

The calibration of inertial navigation systems (INS) measuring sensors with using precision dynamic testbench equipped with heat cameras is a main way to ensure their required accuracy characteristics. In the department 305 of the Moscow Aviation Institute has been created the "Laboratory for testing inertial navigation systems", which has research equipment that provides calibration of all major types of modern inertial measuring systems in a wide temperature range.

The laboratory includes a high-precision biaxial dynamic testbench Actidyn "ST2356C" [1], which has the ability to simulate the motion trajectory's angular parameters in range of ± 600 deg/sec. for inner axis and ± 1800 deg/sec. for outer axis. The angle accuracy is ± 1 arcsec (1 RMS), the speed accuracy is $\pm 0.001\%$ for the inner axis and $\pm 0.05\%$ for the outer axis. The built-in heat chamber allows to set the temperature in the range from -65°C till $+90^{\circ}\text{C}$.

The periodic measurements of the testbench's coordinate system azimuthal attitude is required for carrying out a full range of tests of various accuracy classes INS. An analysis of the INS calibration methods literature showed, that azimuthal attitude reference error should not exceed 5 deg. [2].

With taking into account the constraints caused by the location of the testbench in a small area room, to solve the problem is proposed method for constructing a compact measuring base for determining the azimuthal attitude using industrial land serving technologies.

The method is based on measuring the angular attitude of the mirror placed on the testbench's turntable by an autocollimation method by using a high-precision reflectorless theodolite, the coordinates of which are determined by the method of rangefinder-goniometric measurements on break resistant reflectors with known coordinates, mounted on the room's walls. The calculated measurement error of the testbench azimuth using the proposed method does not exceed 22 arcsec.

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FSFF-2020-0015).

References:

1. https://mai.ru/science/equipment/index.php?SECTION_ID=1292&ELEMENT_ID=30784

2. Shaimardanov I., Methods of bench calibration of strapdown inertial navigation systems of various accuracy classes, Ph.D. thesis, 2019.

Разработка системы поддержки принятия решений послепродажного обслуживания авиационной техники

Зрячев С.А., Ларин С.Н.
УлГУ, г. Ульяновск, Россия

В настоящее время элементы автоматизации и интеллектуализации внедряются во все этапы жизненного цикла авиационной техники (АТ). Этап эксплуатации АТ модернизируется как со стороны производителей АТ, так и со стороны эксплуатантов.

Компании производители гражданской АТ представили такие программные продукты как AnalytX и Skywise. Основной целью представленных программных комплексов является снижение расходов, как по времени, за счет снижения времени простоя АТ, так и денежных, за счет максимального уменьшения «лишних» операций. Согласно материалам, представленным производителями данных систем интеллектуализации ТОиР АТ, данная цель достигается двумя методами:

1. Автоматизация всех непроизводственных (заказ запасных частей и компонентов (ЗИП) и производственных (ускоренное распознавание элементов АТ) операций.
2. Создание средств углубленного анализа данных, которые порождаются непосредственно эксплуатацией АТ.

Данные системы невозможно использовать с отечественными типами гражданской АТ, так как они разрабатывались для использования с АТ данных производителей.

Для повышения качества ТОиР новых типов отечественной гражданской АТ предлагается создание системы поддержки принятия решений (СППР) послепродажного обслуживания АТ.

СППР ТОиР АТ состоит из:

1. Модели участников послепродажного обслуживания (ППО) АТ – обобщенные модели конструкторских бюро, заводов-изготовителей, эксплуатантов АТ и операторов ТОиР АТ.

2. Модели потоков данных между участниками ППО АТ – обобщенные модели взаимодействия участников ППО АТ.

3. База знаний типа АТ – вся информация, возникающая в ходе проектирования, производства и эксплуатации АТ поступает в данный модуль. На основе полученных данных, эксперты со стороны все участников АТ создают экспертные решения.

4. Модуль СППР ТОиР АТ – благодаря данным, собираемым в базу знаний, а также благодаря экспертным решениям данным модулем автоматизированно создаются решения для процессов ТОиР АТ. На основе анализа информации в базе знаний, а также обратной связи между участниками ППО АТ и данным модулем, система обучается и повышает качество предлагаемых решений.

5. Интерфейсный модуль взаимодействия участников ППО АТ с СППР и между собой – представляет собой графический модуль для взаимодействия с модулем СППР ТОиР АТ. Модуль представляет собой витрины данных для каждого типа участников ППО АТ, для контроля доступа к информации, находящейся в базе знаний, а также для построения взаимодействия между участниками ППО АТ.

Creating of decision support system for after-sales support of aircraft

Zryachev S.A., Larin S.N.
UISU, Ulyanovsk, Russia

Currently, elements of automation and intellectualization are introducing in all stages of the life cycle of aircraft. The stage of aircraft utilization is being modernized both by aircraft manufactures and operators.

The aircraft manufacturers presented AnalytX and Skywise systems. The main purpose of these systems is cost reduction. There is time reduction by minimalization of aircraft on ground situations, also there is a reduction of money spending by cutting excessed operations. By the materials that were proposed by the creators of these systems this goal was achieved by two methods:

1. Automation of ordering and recognition aircraft parts.

2. Creating utilities for deep data analysis.

The utilization of these systems is impossible for Russian civil aircraft.

The success of Russian civil aircrafts in the global market depends on a lot of factors including the development of maintenance, repair, and overhaul (MRO).

Decision support system (DSS) of after-sales support of aircraft was proposed for the development of quality of MRO processes for new types of Russian civil aircrafts.

DSS MRO consists of:

1. Models of cooperators of after-sales support- there are generalized models of design-bureau, manufacturers, and aircraft and MRO operators.

2. Models of data streams between members of after-sales support- there are generalized models of interaction between members.

3. Knowledgebase of aircraft type- Whole data that was created during the life cycle of aircraft goes to the knowledgebase. Member's experts create solutions by this data.

4. DSS MRO module – decisions for MRO processes are being automatedly created because of data from knowledgebase and solutions of experts. The system is learning and improving the quality of a decision by data analysis and feedbacks between members.

5. The interface for cooperation between DSS MRO and members is a graphical module. This module consists of data marts for every type of member of after-sales support of aircraft. These data marts are needed for controlling access to information from knowledgebase and also for creating cooperation between members.

The proposed DSO system helps automate:

1. Creating solutions for MRO.

2. Cooperation between members of after-sales support of aircraft.

3. Collecting and processing data that is created during the life cycle of aircraft.

Методы оценки уровня эксплуатационно-технических характеристик летательных аппаратов на стадиях проектирования и испытания

¹Кандыба К.С., ²Егорова А.А.

¹АО «Кронштадт», ²МГТУ ГА, г. Москва, Россия

В основе методов оценки уровня эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ) на каждой стадии жизненного цикла летательного аппарата (ЛА) используются математические модели облика изделия.

Показатели ЭТХ ЛА и показатели ЭТХ его составных частей (СЧ) на этапах разработки эскизного и технического проектов традиционно оценивают расчетным или расчетно-экспериментальными методами с применением полунатурного и математического моделирования [1]. Заданные уровни ЭТХ подтверждаются испытаниями [2].

Трудность проведения вероятностного анализа отказных состояний систем для вновь создаваемых ЛА на стадии проектирования – отсутствие данных эксплуатационной статистики [3]. Моделирование физических процессов и анализ возможных отказов частично решают эту проблему. Определяются условия возникновения отказов и параметры, характеризующие состояние изделий. Возрастание сложности конструкций авиационной техники приводит к увеличению количества параметров, соответственно и к возрастанию вероятности отказа.

При проведении испытательных полётов датчики системы бортовых измерений фиксируют огромные массивы полётной информации, также слабо поддающиеся традиционной статистической обработке.

Технологии интеллектуального анализа (Data Mining) позволяют решить данную задачу, выявляя закономерности и аномалии в данных полётной информации. С помощью алгоритмов Data Mining строится модель обнаружения аномалий непосредственно из данных, собранных во время работы систем ЛА, а не на основе методов диагностики отказов или человеческого опыта.

Технологии искусственного интеллекта таких как машинное обучение, а именно нейронные сети, позволяют прогнозировать возможные отказы СЧ, соответственно и уровень ЭТХ ЛА.

При оценке и прогнозировании ЭТХ методы Data Mining должны составлять информационную поддержку, а принятие решений необходимо допускать экспертными исследованиями с привлечением специалистов различной специализации.

Литература:

1. ГОСТ Р 56081-2014 Изделия авиационной техники. Безопасность полета, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность. Порядок нормирования и контроля показателей. М. Стандартиформ. 2015. – 8 с.
2. Далецкий С.В. Формирование эксплуатационных технических характеристик воздушных судов – М.: Воздушный транспорт, 2005. – 416 с.
3. Межгосударственный авиационный комитет Авиационный регистр Рекомендательный циркуляр РЦ25.1309. Конструкция и анализ систем.

Methods for evaluation of maintenance and technical characteristics of aircraft at design and test stages

¹Kandyba K.S., ²Egorova A.A.

¹Kronshadt JSC, ²MSTU CA, Moscow, Russia

Mathematics models of product appearance underlie the evaluation methods of maintenance and technical characteristics (MTC) at every life cycle stage of aircraft.

At the stages of developing draft and technical projects aircraft's MTC indicators and its component parts' (CP) MTC indicators conventionally are assessed with the help of calculation and analytical-experimental methods with implementation of semirealistic and mathematical simulation. Assigned levels of MTC are confirmed by tests.

The difficulty in conducting a probabilistic analysis for newly created aircraft at the stage of designing is a lack of operational statistics data. Physical process simulation and analysis of possible rejections partly solve this problem. The conditions for rejections occurrence and parameters characterizing state of the items are defined. The increasing complexity of aviation technology structural designs leads to rise in the number of parameters and therefore leads to increase of rejection probability.

During test flights airborne data acquisition system's sensors record massive amounts of flight data, which also have little ability to be statistically analysed.

Data Mining technologies provide the solution for this task by identifying patterns and anomalies in flight data. With the help of data mining algorithm, the model of discovered anomalies directly from data collected during operating time of aircraft systems rather than from data based on rejection diagnostics method or human experience, is built.

Artificial intelligence technology, such as machine learning, namely neural networks, allow forecasting of possible CP rejections and therefore predict aircraft MTC levels.

In assessing and forecasting of MTC Data Mining methods should appear as informational support and decision-making should be made with the help of expert research with involvement of professionals from various fields of study.

Разрешение кореференции в русскоязычном тексте

Лемпожникова Д.В., Кудинов И.Д., Сергеев С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Интеллектуальная обработка текстов на естественном языке представляет собой алгоритмическое получение знаний из текста и их структуризацию. Компьютер, оперируя полученными знаниями, способен выполнять многие простые с точки зрения человека задачи. Специальные алгоритмы могут автоматизировать обработку текстов, сортировку согласно их содержанию, или их изменение. Возможно построение вопросно-ответной системы, способной по запросу, сформулированному на естественном языке, выдавать необходимую пользователю информацию из текста мгновенно.

Представление содержания текста состоит двух частей: из знаний о внешних объектах, референтах, и из знаний об этих объектах, полученных из текста. Для получения второй части используется понятие семантического дерева, которое связывает все слова текста в соответствии с их лексической и морфологической ролью, например, подлежащие и сказуемые, прилагательные и относящиеся к ним существительные, местоимения и имена собственные и так далее. Зная каждое слово, можно восстановить знание из цельного текста по семантическому дереву.

В работе представлен анализ видов кореференции в русском языке, которые можно разделить по нескольким признакам: референтные связи отличаются по семантическому классу референтов, отношению к знанию читателя, по синтаксическому выражению и по другим признакам. Для поиска кореферентных связей применяются методы, основанные на системе строгих правил, статистические методы и методы, основанные на машинном обучении. Проводится сравнение различных методов решения задачи между собой, на основе полученной кореференции строится семантическое дерево.

Allowing coreference in a Russian-language text

Lemtyuzhnikova D.V., Kudinov I.D., Sergeev S.A.

MAI, Moscow, Russia

Intellectual processing of natural language (NLP) is the algorithmic way of getting knowledge from the text. A computer can use to process a text and use acquired knowledge to performing many common tasks. Some algorithms can automate the processing of texts, sorting according to their content, or changing them. It is possible to create a question-answering system that can provide the information necessary to the user from the text instantly in response to a natural language query.

Text meaning consists of two parts. First part contains knowledge about global objects and referents. The second part contains the knowledge about those objects obtained from the text. Semantic tree is used to obtain the second part. It connects all the words according to their lexical and morphological role. Subjects will be connected with predicates, adjectives with related nouns, pronouns with proper names and so on. Provided the knowledge about each word, it is possible to restore the meaning of a whole text using the semantic tree.

In this paper we demonstrate classification of coreference according to several criteria especially for Russian language. They difference by referent's syntactic and semantic class, experience requirement and etc. The paper present an analysis of each of them. There is a few ways to solve coreferences as system of strict rules, statistical or machine learning methods. We comparison of various methods for solving the problem, and build a semantic tree based on the obtained coreference.

Анализ тональности русскоязычных текстов

Лемтюжникова Д.В., Лазаревич О.А., Дегтярев М.Э.

МАИ, г. Москва, Россия

Анализ тональности текста или сентимент-анализ (sentiment analysis) – область компьютерной лингвистики и интеллектуального анализа текста, ориентированная на извлечение субъективных мнений и эмоций человека. Анализ тональности текстов находит практическое применение во многих областях: оценка качества товаров и услуг по отзывам покупателей, анализ эмоций в сообщениях, политических настроений на основе новостных лент, составление психологического портрета.

Проект представляет собой мультиклассификатор русскоязычных текстов, обучение которого происходит на основе размеченного корпуса русскоязычных текстов. Результатом мультиклассификации является принадлежность каждого предложения к одному или нескольким классам: восторг, восхищение, гнев, горе, изумление, настороженность, отвращение, ужас.

Показаны решения следующих задач: извлечение признаков из текста, представление признаков в виде плотных векторов, а также основанной на данных признаках задачи мультиклассификации, описаны данные, полученные для проведения тестов.

Для решения задачи мультиклассификации сравниваются различные архитектуры нейронных сетей: полносвязные, свёрточные, рекуррентные с LSTM блоками и их комбинации. Также рассмотрена архитектура BERT, а именно возможность переноса знаний на данную задачу.

Данная работа может найти применение во многих технологиях: voice-to-text, чат-боты в бизнесе и социальных сетях, а также в системах служб безопасности для оценки эмоционального состояния человека с целью предотвращения террористической угрозы.

Sentiment Analysis of Russian-language texts

Lemtyuzhnikova D.V., Lazarevich O.A., Degtyarev M.E.

MAI, Moscow, Russia

Sentiment analysis is a field of computer linguistics and text intellectual analysis aimed at extracting from it subjective opinions and a person's emotions. Sentiment analysis finds practical application in many areas: quality assessment of goods and services for customer feedback, emotions analysis in messages, political sentiment based on news feedback and making a psychological portrait.

A neural network is a sequence of neurons that are connected by synapses. An artificial neural network structure comes from biology. Neural networks allow us to solve the problem of NLP with good quality. In contrast to classical approaches in ML, neural networks have the ability to independently extract attributes from input data.

The project is a multiclassifier of russian texts, which is trained on the basis of the marked russian texts corpus. The result is that each sentence belongs to one or several classes: anger, anticipation, disgust, fear, joy, sadness, surprise, trust.

We demonstrated solutions to the following problems: extracting attributes from text, representing features in the form of dense vectors and multiclassification task based on this attributes, described data obtained for tests.

Different neural networks architectures are compared: fully connected, convolutional, recurrent neural networks with LSTM blocks and their combinations. BERT architecture is also considered, namely the possibility of knowledge transfer to this task.

This work may find application in many technologies: voice-to-text, chatbots, business and social networks, and systems to assess a person's emotional state to prevent a terrorist threat.

Задача выделения именованных сущностей

Лемтюжникова Д.В., Сладков Р.И., Козловский А.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Задача выделения именованных сущностей (Named-Entity Recognition, NER) и задача анализа тональности (sentiment analysis, SA) являются одними из самых популярных направлений развития обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP). Целью исследования является разработка программного обеспечения на основе машинного обучения и нейронных сетей, способного автоматически извлекать из текстов именованные сущности и связанные с ними тонально окрашенные слова и фрагменты. Классическим применением предлагаемой технологии служат отзывы покупателей в интернет-магазинах, тенденции в социальных сетях, новостные потоки и т.д.

В отличие от большинства исследований, где тональность разделяется на положительную, отрицательную и нейтральную, в данной работе предлагается выделять восемь основных эмоций согласно теории Келлермана-Плутчика: настороженность, восторг, восхищение, ужас, изумление, горе, отвращение и гнев. Данный подход позволяет более детально анализировать тексты и отдельные предложения.

В начале работы программы текст проходит несколько этапов предобработки: токенизация, лемматизация и тегирование. После с помощью нейронной рекуррентной сети с элементами долгой краткосрочной памяти (LSTM) в тексте выделяются именованные сущности. Затем с помощью классических методов машинного обучения, например, метод бустинга, определяется тональность связанных с ними слов. При определении тональности слов используются следующие признаки:

- Тональности окружающих его слов.
- Наличие особых слов, меняющих или усиливающих тональность.
- Тональность связанных слов (синонимы, антонимы, гипонимы).
- Лексические и морфологические признаки слов.
- Сущности, к которым относятся слова.

Дальнейшим развитием данной работы может служить применение различных внешних источников информации, пополнение данных для обучения с помощью краудсорсинговых проектов.

Named-entity recognition

Lemtyuzhnikova D.V., Sladkov R.I., Kozlovsky A.V.
MAI, Moscow, Russia

The problem of named-entity recognition (NER) and the problem of sentiment analysis (SA) are among the most popular areas of development of natural language processing (NLP). The purpose of the research is to develop software based on machine learning and neural networks that can automatically recognition named-entity and related tonally colored words and fragments from texts. The classic application of the proposed technology is customer reviews in online stores, social media trends, news streams, etc.

Unlike most studies, where tonality is divided into positive, negative, and neutral, this paper proposes to distinguish eight main emotions according to the Kellerman-Plutchik theory: alertness, delight, admiration, horror, amazement, grief, disgust, and anger. This approach allows you to analyze texts and individual sentences in more detail.

At the beginning of the program the text goes through several stages of preprocessing: tokenization, lemmatization, and tagging. After that named entities are selected in the text using a neural recursive network with elements of long short-term memory (LSTM). Then using classical machine learning methods such as the boosting method the tonality of the words associated with them is determined. When determining the tonality of words the following features are used:

- The tonality of the surrounding words.
- The presence of special words that change or enhance the tone.
- Tonality of related words (synonyms, antonyms, hyponyms).
- Lexical and morphological features of words.
- Entities that words belong to.

Further development of this work can be the use of various external sources of information, adding data for training using crowdsourcing projects.

Определение структуры и спецификации протокола методом верификации его составных элементов с известными макрофункциями и примитивами

Лосев В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Протоколы связи позволяют нескольким компонентам обмениваться сообщениями в единообразном формате. Протоколы широко распространены в сетях и телекоммуникациях. Протокол может являться открытым стандартом или проприетарным, т.е. иметь неизвестную для конечного пользователя структуру. При этом, даже если протокол построен на основе открытого стандарта, он может не до конца соответствовать ему или иметь свои особые сообщения, при этом маскируясь под другие протоколы. В связи с этим важно понять, используется ли известный протокол или же его модификация. Технологию автоматического определения типа протокола используют такие системы как система обнаружения вторжения, межсетевые экраны, анализаторы трафика. Таким образом, целями обнаружения протокола связи могут являться:

- Аудит безопасности, направленный на обнаружение постороннего протокола в сети передачи данных и/или неких данных внутри передаваемого пакета;
- Определение нужного протокола и установка метки для дальнейшей идентификации;
- Идентификация протокола связи, используемого в клиентской части вирусов для взаимодействия с центром управления [1,2,3].

Проблема распознавания сетевых пакетов выше 4-ого уровня модели ВОС становится куда более сложной (за исключением протокола ICMP). Причина этого заключается в том, что в отличие от уровней ниже, здесь нет флагов или меток, которые могли бы пояснить, какие протоколы используются. Рассмотрим кусок заголовка TCP сегмента “0050e42d87cb12287d1a49a45018”. 0x0050 обозначают исходящий порт. Биты 0xe42d означают порт назначения. Переведем 0x0050 в десятичную систему счисления, мы получим значение 80. 80-й порт известен как порт для HTTP (используется веб-сервером для приема запросов от клиентов). Но невозможно на основе лишь этих данных утверждать, что поверх TCP находится HTTP. Нет никаких дополнительных гарантий, что используется именно HTTP, а не любой другой протокол, в том числе проприетарный, который использует 80-й порт, так как в подавляющем большинстве случаев данный порт открыт на межсетевых фильтрах. Это может быть игровой сервер, который пользуется тем, что HTTP привязан к 80 порту.

Одной из ошибок данного метода является тот факт, что протоколы могут использовать разные порты, в том числе те, что по стандарту используются другими протоколами. Результаты предлагаемого исследования будут полезны для обнаружения скрытых каналов передачи данных в инфокоммуникационных системах и совершенствования систем обнаружения вторжения.

Definition of the structure and specification of the protocol by the method of verification of its constituent elements with known macrofunctions and primitives

Losev V.A.

MAI, Moscow, Russia

Communication protocols allow multiple components to exchange messages in a uniform format. Protocols are widespread in networks and telecommunications. The protocol can be an open standard or proprietary, i.e. have a structure unknown to the end user. At the same time, even if a protocol is built on the basis of an open standard, it may not fully comply with it or have its own special messages, while masquerading as other protocols. In this regard, it is important to understand whether a known protocol is used or a modification of it. Automatic protocol type detection technology is used by such systems as intrusion detection systems, firewalls, and traffic analyzers. Thus, the targets of communication protocol detection can be:

- Security audit aimed at detecting an extraneous protocol in the data transmission network and/or some data inside the transmitted packet.
- Determination of the required protocol and setting a label for further identification.
- Identification of the communication protocol used in the client side of viruses to interact with the control center.

The problem of recognizing network packets above the 4th layer of the OSI model becomes much more complicated (with the exception of the ICMP protocol). The reason for this is that, unlike the layers below, there are no flags or labels to explain which protocols are in use. Consider the TCP segment header piece “0050e42d87cb12287d1a49a45018”. 0x0050 stands for outgoing port. Bits 0xe42d indicate the destination port. Converting 0x0050 to decimal gives us the value 80. The 80th port is known as the HTTP port (used by the web server to receive requests from clients). But it is impossible to argue based on this data alone that HTTP is on top of TCP. There are no additional guarantees that HTTP is used, and not any other protocol, including the proprietary one, which uses port 80, since in most cases this port is open on firewalls. This could be a game server that takes advantage of HTTP being bound to port 80.

One of the errors of this method is the fact that protocols can use different ports, including those that are used by the standard by other protocols. The results of the proposed research will be useful for detecting hidden data transmission channels in infocommunication systems and improving intrusion detection systems.

Универсальный пользовательский интерфейс для работы с компьютерными моделями

Мацера М.С., Тищенко Д.Ю., Бирюков П.А., Правидло М.Н.
ГосМКБ «Вымпел», г. Москва, Россия

Компьютерное моделирование получило широкое распространение в научно-исследовательских, конструкторских и других видах деятельности. Однако, вопросам сервиса: создания системы исходных данных, их загрузки, управления моделью, экспресс-анализа и визуализации результатов – уделяется недостаточное внимание.

Разработанный графический пользовательский интерфейс (ГПИ) предназначен для повышения эффективности работы с существующими и вновь создаваемыми компьютерными моделями (КМ). ГПИ является универсальным инструментом, не встраивается в КМ и может использоваться с КМ, реализованными на любом языке программирования в рамках ОС семейства Windows 7 и выше. Универсальность ГПИ обеспечивается следующей структурой моделирующей системы:

1. КМ – автономное приложение (основной расчётный алгоритм), которое управляется консольными командами, считывает файлы исходных данных и сохраняет результаты в файлы результатов.

2. ГПИ – графическое оконное приложение с развитым пользовательским интерфейсом, построенное в системе Windows Presentation Foundation, которое работает с файлами исходных данных, файлами результатов и управляет запуском КМ.

ГПИ позволяет создавать и редактировать файлы исходных данных, воспроизводить и визуализировать файлы результатов и имеет встроенные средства управления компьютерной моделью с возможностью автоматизировать расчёт с множеством вариантов исходных данных.

Реализованы два инструмента работы с исходными данными: встроенный в интерфейс основного окна табличный редактор с навигацией по блокам исходных данных, представленных в виде древовидной структуры и специализированный текстовый редактор с расширенным функционалом.

Реализовано несколько режимов визуализации результатов: текущий мониторинг переменных, табличный вид, двумерные графики, трёхмерная визуализация в режиме реального времени.

Ключевые достоинства ГПИ:

- Наглядность представления и удобство корректировки исходных данных.
- Повышение надёжности вычислений в КМ за счёт снижения риска опечаток и ошибок в исходных данных.
- Наглядность представления и удобство оценки результатов.
- Автоматизация создания исходных данных для множества вариантов.
- Автоматизация счёта множества вариантов и обработки результатов.
- Универсальность формата исходных данных «wpDATA», не зависящего от языка программирования, используемого в КМ.

Versatile user interface for computer models

Matsera M.S., Tishchenko D.Yu., Biryukov P.A., Pravidlo M.N.
GosMKB “Vympel”, Moscow, Russia

Computer modeling has become widespread in research, design and other activities. However, the issues of service: creating a system of source data, loading them, managing the model, rapid analysis and visualization of results – are not given enough attention.

The developed graphical user interface (GUI) is designed to improve the efficiency of working with existing and newly created computer models (CM). GUI is a universal tool, is not embedded in CM and can be used with CM implemented in any programming language within the Windows 7 family OS and above. The versatility of the GUI is ensured by the following structure of the modeling system:

1. KM is an autonomous application (the main calculation algorithm), which is controlled by console commands, reads the source data files and saves the results to result files;

2. GUI is a graphical window application with a developed user interface built in the Windows Presentation Foundation system, which works with source data files, results files and manages the launch of CM.

The GUI allows you to create and edit source data files, visualize result files, and has built-in computer model management tools with the ability to automate calculation with many variants of the source data.

Two tools for working with initial data are implemented: a table editor built into the interface of the main window with navigation on blocks of initial data presented in the form of a tree structure and a specialized text editor with advanced functionality.

Several modes of visualization of results have been implemented: current monitoring of variables, tabular view, two-dimensional graphics, three-dimensional graphical visualization in real time.

Key advantages of GUI:

- Presentation clarity and ease of editing of initial data.
- Increase of reliability of calculations in KM due to reduction of risk of typographical errors and errors in initial data.
- Visibility and ease of evaluation of results.
- Automate the creation of source data for multiple variants.
- Automate the counting of multiple variants and the processing of results.
- Versatility of «wpDATA» initial data format, independent of programming language used in CM.

Возможность использования космических снимков высокого разрешения для выявления мест несанкционированного скопления отходов

Мессинева Е.М., Фетисов А.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяют с минимальными затратами и в кратчайшие сроки исследовать большие пространства, поэтому эти методы целесообразно использовать для нужд экологического мониторинга. Так, с помощью методов ДЗЗ можно не только оценивать состояние функционирующих и закрытых полигонов отходов, но и выявлять места возможного несанкционированного скопления мусора.

Эффективность использования космических снимков при мониторинге несанкционированных скоплений мусора может быть достигнута только в сочетании с выборочным наземным контролем и использованием современных геоинформационных систем (ГИС). Такой подход позволяет оперативно выявлять и картографировать несанкционированные свалки, а также наблюдать за изменениями их площадей.

Несанкционированные места скопления отходов, существенно отличаются от организованных полигонов складирования отходов, которые обычно имеют значительную площадь и четкие границы. В настоящий момент уже выявлены некоторые характерные признаки несанкционированных мест скопления отходов, позволяющие их выявить на космических снимках высокого разрешения.

Так, в подобных местах часто содержатся материалы с высокими коэффициентами отражения, которые дают резкое повышение яркости на снимках и имеют белые, светлоголубые оттенки. Контуры несанкционированных свалок характеризуются неправильной формой: обычно они вытягиваются вдоль линейных объектов – автомобильных и железных дорог, склонов речных долин, берегов озер и болот. Изображения скоплений отходов на космических снимках высокого разрешения обладают мелкозернистой текстурой, образующейся за счет неровностей их поверхности, возникающей из-за того, что они (свалки) сложены из различных предметов.

Использование таких дешифровочных признаков позволяет по снимкам высокого разрешения выявлять даже небольшие места скопления мусора (площадь от 10 кв.м) с достаточно высокой (до 90%) вероятностью.

High-resolution satellite images usage possibility for places of unauthorized waste accumulation identifying

Messineva E.M., Fetisov A.G.

MAI, Moscow, Russia

Earth remote sensing (ERS) methods make possible to explore large areas with minimal costs and in the shortest possible time, therefore, these methods are advisable to use for the environmental monitoring needs. So, using remote sensing methods, it is possible not only to assess the state of functioning and closed waste landfills, but also to identify places of possible unauthorized accumulation of garbage.

The efficiency of using space images for monitoring unauthorized accumulations of debris can only be achieved in combination with selective ground control and the use of modern geographic information systems (GIS). This approach allows you to quickly identify and map unauthorized landfills, as well as monitor changes in their areas.

Unauthorized waste accumulation sites differ significantly from organized waste disposal sites, which usually have a significant area and clear boundaries. At the moment, some characteristic features of unauthorized waste accumulation sites have already been identified, allowing them to be identified on high-resolution satellite images.

For example, such places often contain materials with high reflectivity, which give a sharp increase in brightness in the pictures and have white, light blue tints. The contours of unauthorized dumps are characterized by an irregular shape: they usually stretch along linear objects - roads and railways, the slopes of river valleys, lake shores and swamps. High-resolution satellite imagery of waste accumulations has a fine-grained texture resulting from the unevenness of their surface, arising from the fact that they (landfills) are composed of various objects.

Such deciphering signs usage makes possible to identify even small places of unauthorized garbage accumulation (with an area of 10 sq.m.) from high-resolution images with a fairly high (up to 90%) probability.

Обнаружение излучения цифрового интерфейса СВТ с использованием двумерной автокорреляционной функции

Нужнов М.С., Кузнецов Ю.В., Баев А.Б., Коновалюк М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Для диагностики работы средств вычислительной техники (СВТ) могут использоваться встроенные механизмы, такие как POST(Power-On Self-Test), внешнее контрольное оборудование, подключающееся к свободным портам интерфейсов или к специальным тестовым контактным площадкам или бесконтактная диагностика, т.е. измерения электромагнитного излучения (ЭМИ) СВТ. Продолжающееся развитие электроники приводит к миниатюризации СВТ и повышению требований к целостности сигналов и вынуждает разработчиков ограничивать использование тестовых площадок. Таким образом растёт актуальность задачи бесконтактной диагностики.

В работе рассматривается задача обнаружения цифрового интерфейса по его ЭМИ в ближней зоне. Большинство сигналов циркулирующих в СВТ могут быть описаны как циклостационарные случайные процессы, т.е. процессы статистические характеристики которых являются периодическими функциями времени. Случайность такого процесса обусловлена передаваемой информацией, а периодичность характеристик вызвана периодичностью тактирования. Из циклостационарности сигналов СВТ следует циклостационарность их излучения, что позволяет использовать для обнаружения таких источников ЭМИ СВТ соответствующие методы.

Для решения поставленной задачи предложен метод обнаружения, основанный на анализе двумерной автокорреляционной функции сигнала зарегистрированного пробником ближнего поля. Приведены теоретические исследования, показывающие связь такого метода с

отношением правдоподобия. Моделирование обнаружения излучения цифрового интерфейса подтвердило перспективность предлагаемого метода. Экспериментальное исследование метода проведено на макете СВТ на базе отладочной платы ПЛИС. Излучение вблизи цифрового интерфейса макета регистрировалось пробником ближнего поля и записывалось цифровым осциллографом для дальнейшей обработки. Обработка экспериментальных данных подтвердило перспективность предложенного метода и повышение качества обнаружения по сравнению с классическими методами обнаружения.

Detection of the electronic devices (ED) emissions using two-dimensional autocorrelation function

Nuzhnov M.S., Kuznetsov Yu.V., Baev A.B., Konovalyuk M.A.
MAI, Moscow, Russia

Detection of the electronic devices (ED) emissions using two-dimensional autocorrelation function

There are three approaches to diagnose PC operation:

- 1) Built-in diagnostics such as POST (Power-On Self-Test);
- 2) External control equipment connecting to free interface ports or to special testpoints;
- 3) Contactless diagnostics, i.e. measurements of near-field electromagnetic emissions.

The continuing development of electronics leads to miniaturization of electronic devices and increased signal integrity requirements and forces developers to limit the use of testpoints. Thus, the relevance of the problem of contactless diagnostics is growing.

The paper considers the problem of detecting a digital interface by its near-field electromagnetic emissions. Most of the signals circulating in the ED can be described as cyclostationary random processes, i.e. processes whose statistical characteristics are periodic functions of time. The randomness of such a process is due to the transmitted information, and the periodicity of the characteristics is caused by clocking. From the cyclostationarity of ED signals follows the cyclostationarity of their emissions, which makes it possible to use appropriate methods for detecting such sources of ED emissions.

A detection method based on the analysis of the two-dimensional autocorrelation function of the signal registered by the near-field probe is proposed. Theoretical studies are presented that show the relationship between this method and the likelihood ratio. Simulation of the detection of emission from the digital interface has confirmed the promising of the proposed method. An experimental study of the method was carried out on an ED prototype based on an FPGA development board. Emission near the digital interface of the prototype was recorded with a near-field probe and recorded with a digital oscilloscope for further processing. The processing of experimental data confirmed an improvement in the detection quality of proposed method in comparison with classical detection methods.

Снижение вычислительной нагрузки в системе SBAS при полиномиальной аппроксимации измерений

Подкорытов А.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается обработка навигационных измерений в широкозонных системах дифференциальной коррекции типа SBAS (Satellite Based Augmentation Systems) на примере российской системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ). Система СДКМ является системой функционального дополнения для глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS. Корректирующая информация СДКМ включает в себя поправки к широкоэвентральным эфемеридам, использование которых повышает точность навигации на территории действия системы. Помимо повышения точности оперативного местоопределения коррекция и мониторинг потребителя одним из требований к системе СДКМ является оперативная передача информации о целостности ГНСС. Под целостностью понимается информация о сбоях в работе ГНСС и некорректных навигационных данных.

При вычислении корректирующей информации по измерениям сети наземных станций в центре управления СДКМ собирается и обрабатывается огромный объём информации: секундные навигационные измерения с нескольких десятков станций, на каждой из которых расположены три навигационных приёмника. При этом используется несколько вычислительно затратных алгоритмов для обнаружения срывов слежения за фазами несущих колебаний спутниковых сигналов (обнаружение скачков псевдофазовых измерений). Часть указанных алгоритмов используют кубическую полиномиальную аппроксимацию по 8 измерениям с целью вычисления прогнозного значения измерения и сравнения с реальным. Стандартным способом оценки коэффициентов полинома является использование метода наименьших квадратов. Поскольку анализируются различные комбинации измерений, а число измерений велико, вычислительные затраты на матричные операции метода наименьших квадратов являются достаточно большими. В работе предлагается вместо оценки коэффициентов кубического полинома матричными операциями для вычисления прогнозного значения измерений использовать представление значения полинома через линейную комбинацию предыдущих 8 измерений. Указанное представление является строгим и не уступает по точности обычному использованию полинома, но значительно снижает вычислительные затраты. В работе даны сравнительные оценки по снижению вычислительной нагрузки за счёт предложенного метода для различного числа станций сети.

Reduction of computation load in SBAS system during polynomial approximation of observations

Podkorytov A.N.

MAI, Moscow, Russia

Processing of the observations from the network of SBAS (Satellite Based Augmentation Systems) ground stations on an example of SDCM (the System for Differential Corrections and Monitoring) is considered in the study. SDCM is the Russian GNSS (Global Navigation Satellite Systems) augmentation system for GLONASS and GPS. SDCM corrections include satellite orbit corrections, satellite clock corrections and ionospheric corrections, which provide an increase of positioning accuracy. Along with the positioning accuracy improvement of a single frequency user SDCM provides messages with integrity information. By integrity, information data about a failure operation and the incorrect observations are meant.

To compute the corrections SDCM control center collects and processes enormous amount of data from the network of reference stations: 1s observations from the tens of stations which are equipped with three GNSS receivers. During this processing several computationally expensive algorithms for cycle slip detection are applied. Some of these algorithms include cubic polynomial approximation by 8 previous observations to compute the predicted observation value and to compare it with the real one. Usual way to estimate polynomial coefficients is the use of a least square solution. Because of a variety of analyzed linear combinations of observations and a huge number of them, computational load for the least square solution matrix operations is very serious. Instead of the estimation of cubic polynomial coefficients with the matrix operations the representation of polynomial value by means of a linear combination of 8 previous observations is suggested in the study. The representation is rigorous and doesn't play back compared to the usual polynom usage. At the same time, it significantly reduces the computational load. Comparative results for the reducing of the computational load due to the suggested method are shown in the study for different number of network reference stations.

Методика многокритериальной оценки космических средств и систем

Разумов Д.А., Мальшев В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

При разработке проектов космических средств и систем, возникает необходимость квалифицированной оценки предлагаемых проектных решений и не только в пространстве показателей «стоимость, эффективность». Обычно для многокритериальной оценки применяются известные методики (методы коэффициентов Фишберна, Саати др.), тем не менее, их практическая реализация требует иногда более глубокого осмысления алгоритмов

и при внедрении в некоторых случаях сталкивается с серьезными ограничениями. Как правило, ни одна из них не обходится без формализации экспертного мнения, которое, в-первых, не свободно от субъективного фактора, а во-вторых, связано с неразрешимой проблемой организации формирования этих оценок на основе персональной ответственности самих экспертов. В практике принятия многокритериальных решений нередко применяются методы, которые позволяют сводить весь спектр характеристик той или иной альтернативы к численному эквиваленту, определяемому свёрткой области неопределённости к некоему критерию или комплексной оценке. Иными словами, используют метод так называемой скаляризации векторного критерия. Вопрос в любом случае заключается в технологии исчисления этой самой оценочной характеристики. Для того чтобы существенно снизить влияние вышеописанных факторов на принятие решения авторы предлагают использовать использование новой методики многокритериальной оценки космических систем, в которой оценка проекта вычисляется как вероятность того, что при всех возможных экспертных мнениях он будет в выигрыше. Другая серьёзная проблема – программная имплементации метода, при которой возникает ряд проблем, связанных с дискретностью множества предложенных коэффициентов скаляризации и доступными вычислительными мощностями имеющихся средств автоматизации. Авторы успешно справились с решением этих проблем в ходе разработки системы поддержки принятия решений (СППР) на основе рекурсивных алгоритмов распределения весов показателей проектных альтернатив, а также применения параллельных вычислений для повышения производительности ПО.

Methodology for multi-criteria evaluation of space assets and systems

Razumov D.A., Malyshev V.V.

MAI, Moscow, Russia

When developing projects for space assets and systems, there is a need for a qualified assessment of the proposed design solutions and not only in the space of "cost, efficiency" indicators. Usually, well-known methods are used for multi-criteria evaluation (methods of Fishburne coefficients, Saati, etc.), however, their practical implementation sometimes requires a deeper understanding of the algorithms and in some cases faces serious limitations when implementing them. As a rule, none of them is complete without formalizing the expert opinion, which, firstly, is not free from the subjective factor, and secondly, is associated with the unsolvable problem of organizing the formation of these assessments based on the personal responsibility of the experts themselves. In the practice of making multi-criteria decisions, methods are often used that allow you to reduce the entire range of characteristics of an alternative to a numerical equivalent, determined by the convolution of the area of uncertainty to a certain criterion or complex assessment. In other words, the method of so-called scalarization of the vector criterion is used. The question, in any case, is the technology for calculating this very evaluation characteristic. In order to significantly reduce the impact of the above factors on decision-making, the authors suggest using a new method of multi-criteria evaluation of space systems, in which the project evaluation is calculated as the probability that, with all possible expert opinions, it will benefit. Another serious problem is the software implementation of the method, which raises a number of problems related to the discreteness of the set of proposed scalarization coefficients and the available computing power of existing automation tools. The authors successfully solved these problems during the development of a decision support system (DSS) based on recursive algorithms for distributing weights of indicators of project alternatives, as well as using parallel computing to improve SOFTWARE performance.

Разработка тепловой макромодели плоского канала системы принудительного воздушного охлаждения БРЛС

Сиротинский Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Современный этап развития бортовой радиолокационной системы (БРЛС) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) характеризуется требованиями снижению их массы при сохранении требований по излучаемой мощности. Это приводит к повышению удельной

мощности рассеивания и, следовательно, к повышению температуры радиоэлектронных блоков. С другой стороны, эффективность использования охлаждающего воздуха современных систем принудительного воздушного охлаждения не превышает 20-30 процентов. ПВО можно представить в виде системы плоских и оребренных каналов. Повысить эффективность систем ПВО можно путём выбора рациональной компоновки конструкции БРЛС, учитывающей теплоотдачу плоских каналов. Для решения этой задачи в работе предлагается макромодель плоского канала системы ПВО.

Разработанная макромодель объединяет значимые параметры плоского воздушного канала, определяющие эффективность его теплоотдачи:

1. Процент затенения канала.
2. Удаленность элементов затенения в канале от входного сечения канала.
3. Удаленность теплового источника от поступающего в БРЛС охлаждающего воздуха.
4. Уровень нахождения теплового источника относительно входящего в БРЛС охлаждающего воздуха.

Макромодель получена экспериментальным путём.

Адекватность разработанной макромодели проверялась на конструкции БРЛС путём сравнения результатов расчёта теплоотдачи каналов БРЛС в среде SolidWorks Flow Simulation и с помощью макромодели. Проведено 30 экспериментов, которые показали, что максимальная погрешность макромодели не превышает 9%.

Таким образом, разработанная макромодель обладает удовлетворительной для этапа компоновки конструкции точностью и может эффективно применяться для повышения эффективности систем ПВО БРЛС.

Development of a thermal macromodel of a flat channel of a forced air cooling system for an airborne radar

Sirofinskij E.A.
MAI, Moscow, Russia

The current stage of development of the on-board radar system (BRL) of unmanned aerial vehicles (UAVs) has requirements to reduce their mass while maintaining the requirements for radiated power. This leads to an increase in the specific power dissipation and, consequently, to an increase in the temperature of the electronic blocks. On the other hand, the efficiency of using the cooling air of modern system air cooling does not exceed 20-30 percent. Air defense can be represented as a system of flat and ribbed channels. The efficiency of air defense systems can be increased by choosing a rational layout of the airborne radar design, taking into account the heat transfer of flat channels. To solve this problem, a macromodel of a flat channel of the air defense system is proposed.

The developed macromodel combines the significant parameters of a flat air channel that determine the efficiency of its heat transfer:

1. Percentage of channel shading;
2. Remoteness of shading elements in the channel from the channel inlet section;
3. Remoteness of the heat source from the cooling air entering the radar;
4. The level of location of the heat source relative to the cooling air entering the radar.

The macromodel is obtained experimentally.

The adequacy of the developed macromodel was checked by the design of the radar comparing the results of calculating the heat transfer of the radar channels in the SolidWorks Flow Simulation environment and using the macromodel. 30 experiments were carried out, which showed that the maximum error of the macromodel does not exceed 9%.

Thus, the developed macromodel satisfies the design layout and can be used to improve the efficiency of air defense systems of airborne radar systems.

Автоматизация документооборота инженерных служб авиакомпаний

¹Степаненко А.Ю., ²Степаненко В.А.

¹МАИ, ²УНТЦ «ИНМАС ЛТД», г. Москва, Россия

Дается общее представление о предметной области, – организации планирования и выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) воздушных судов (ВС) силами собственного технического центра авиакомпании.

Демонстрируется место задач учета движений материально-технических ресурсов (МТР) между различными подразделениями авиакомпании, которые задействованы в процессах технического обслуживания воздушных судов. Демонстрируется важность задачи учета движений МТР для обеспечения безопасности авиарейсов.

Кратко рассматривается программное обеспечение SAP ERP как программная платформа, на базе которой возможно создание автоматизированной системы для комплексного управления процессами технического обслуживания воздушных судов. Более подробно рассматриваются основные базовые инструменты системы SAP ERP, которые можно использовать для автоматизации учета материально-технических ресурсов.

Детально рассматривается бизнес-процесс плановой замены агрегата воздушного судна. Демонстрируется необходимость увязки материального потока (движений демонтируемого и монтируемого агрегатов между подразделениями, внутри подразделений, обмен с внешними контрагентами), потока необходимых бумажных сопроводительных документов агрегатов, информационного потока в автоматизированной системе.

Демонстрируются, что такая увязка наилучшим образом выполняется в случае, когда все используемые бумажные сопроводительные документы целиком генерируются информационной системой. По многим причинам это не всегда возможно: например, если речь идет о документе, выпущенном заводом-производителем агрегата. В этом случае из информационной системы может быть сгенерирован технический документ в форме, например, клеящейся этикетки или обложки для внешнего документа. Основная задача такого документа – связать внешний документ с соответствующим информационным объектом и унифицировать процессы обработки документов внутри предприятия (например, процесс идентификации документа путем считывания штрихового кода на документе).

Airline Engineering Services Document Flow Automation

¹Stepanenko A.Y., ²Stepanenko V.A.

¹MAI, ²UNTC “INMAS LTD”, Moscow, Russia

A General idea is given of the subject area – the organization of planning and execution of maintenance and repair works (MRO) of aircraft (AF) by the airline's own technical center.

The paper demonstrates the place of tasks to control the movement of material and technical resources (MTR) between various divisions of the airline that are involved in the processes of aircraft maintenance. The article demonstrates the importance of tracking MTR movements to ensure the safety of flights.

SAP ERP software is briefly considered as a software platform that can be used to create an automated system for integrated management of aircraft maintenance processes. In more detail, the main basic tools of the SAP ERP system that can be used to automate the accounting of material and technical resources are discussed.

The business process of planned replacement of the aircraft component is considered in detail. It demonstrates the need to link the material flow (movements of the dismantled and mounted units between divisions, within divisions, exchange with external contractors), the flow of necessary paper accompanying documents of the units, and the information flow in an automated system.

It is demonstrated that such linking is best performed when all the paper accompanying documents used are generated entirely by the information system. For many reasons, this is not always possible: for example, if we are talking about a document issued by the manufacturer of the component. In this case, a technical document can be generated from the information system in the form of, for example, an adhesive label or cover for an external document. The main task of such a document is to link an external document with the corresponding information object and unify

document processing processes within the enterprise (for example, the process of identifying a document by reading the bar code on the document).

Универсальный пользовательский интерфейс для работы с компьютерными моделями

Тищенко Д.Ю., Мацера М.С., Бирюков П.А., Правидло М.Н.
ГосМКБ «Вымпел», г. Москва, Россия

Компьютерное моделирование получило широкое распространение в научно-исследовательских, конструкторских и других видах деятельности. Однако, вопросам сервиса: создания системы исходных данных, их загрузки, управления моделью, экспресс-анализа и визуализации результатов – уделяется недостаточное внимание.

Разработанный графический пользовательский интерфейс (ГПИ) предназначен для повышения эффективности работы с существующими и вновь создаваемыми компьютерными моделями (КМ). ГПИ является универсальным инструментом, не встраивается в КМ и может использоваться с КМ, реализованными на любом языке программирования в рамках ОС семейства Windows 7 и выше. Универсальность ГПИ обеспечивается следующей структурой моделирующей системы:

1. КМ – автономное приложение (основной расчётный алгоритм), которое управляется консольными командами, считывает файлы исходных данных и сохраняет результаты в файлы результатов;

2. ГПИ – графическое оконное приложение с развитым пользовательским интерфейсом, построенное в системе Windows Presentation Foundation, которое работает с файлами исходных данных, файлами результатов и управляет запуском КМ.

ГПИ позволяет создавать и редактировать файлы исходных данных, воспроизводить и визуализировать файлы результатов и имеет встроенные средства управления компьютерной моделью с возможностью автоматизировать расчёт с множеством вариантов исходных данных.

Реализованы два инструмента работы с исходными данными: встроенный в интерфейс основного окна табличный редактор с навигацией по блокам исходных данных, представленных в виде древовидной структуры и специализированный текстовый редактор с расширенным функционалом.

Реализовано несколько режимов визуализации результатов: текущий мониторинг переменных, табличный вид, двумерные графики, трёхмерная визуализация в режиме реального времени.

Ключевые достоинства ГПИ:

- Наглядность представления и удобство корректировки исходных данных.
- Повышение надёжности вычислений в КМ за счёт снижения риска опечаток и ошибок в исходных данных.
- Наглядность представления и удобство оценки результатов.
- Автоматизация создания исходных данных для множества вариантов.
- Автоматизация счёта множества вариантов и обработки результатов.
- Универсальность формата исходных данных «wpDATA», не зависящего от языка программирования, используемого в КМ.

Versatile user interface for computer models

Tishchenko D. Yu., Matsera M. S., Biryukov P. A., Pravidlo M. N.
GosMKB «Vympel», Moscow, Russia

Computer modeling has become widespread in research, design and other activities. However, the issues of service: creating a system of source data, loading them, managing the model, rapid analysis and visualization of results – are not given enough attention.

The developed graphical user interface (GUI) is designed to improve the efficiency of working with existing and newly created computer models (CM). GUI is a universal tool, is not embedded in CM and can be used with CM implemented in any programming language within the Windows 7

family OS and above. The versatility of the GUI is ensured by the following structure of the modeling system:

1. KM is an autonomous application (the main calculation algorithm), which is controlled by console commands, reads the source data files and saves the results to result files.

2. GUI is a graphical window application with a developed user interface built in the Windows Presentation Foundation system, which works with source data files, results files and manages the launch of CM.

The GUI allows you to create and edit source data files, visualize result files, and has built-in computer model management tools with the ability to automate calculation with many variants of the source data.

Two tools for working with initial data are implemented: a table editor built into the interface of the main window with navigation on blocks of initial data presented in the form of a tree structure and a specialized text editor with advanced functionality.

Several modes of visualization of results have been implemented: current monitoring of variables, tabular view, two-dimensional graphics, three-dimensional graphical visualization in real time.

Key advantages of GUI:

- Presentation clarity and ease of editing of initial data.
- Increase of reliability of calculations in KM due to reduction of risk of typographical errors and errors in initial data.
- Visibility and ease of evaluation of results.
- Automate the creation of source data for multiple variants.
- Automate the counting of multiple variants and the processing of results.
- Versatility of «wpDATA» initial data format, independent of programming language used in CM.

Анализ характеристик выделения сигналов на фоне аддитивных помех с применением алгоритмов JADE и FastICA при наличии априорной неопределенности относительно параметров сигнала

Тяпкин П.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Слепая обработка сигналов является сравнительно новым направлением цифровой обработки сигналов, некоторые характеристики которых неизвестны. Существует несколько методов слепой обработки сигналов, большое внимание уделяют методу анализа независимых компонент, поскольку он в ряде случаев дает наилучшие результаты.

Известно несколько алгоритмов слепой обработки сигналов на основе метода анализа независимых компонент. В данной работе был проведен сравнительный анализ алгоритмов JADE и FastICA. Для оценки точности выделения сигналов различной формы из смеси, состоящей из аддитивных помех, были разработаны имитационные модели слепых компенсаторов помех. Компенсаторы, включенные параллельно, одновременно осуществляют задачу слепого выделения сигналов из смесей с аддитивными помехами. Предполагается, что шумы на приемной стороне устранены или отсутствуют. В качестве полезных сигналов при моделировании были использованы синусоидальный, меандр и пилообразный сигналы. В качестве помех использовались гармонические и импульсные сигналы со случайной амплитудой. Подкомпоненты, выделенные в результате работы алгоритма, сравниваются с исходными сигналами с применением корреляционной функции. Точности выделения подкомпонент сравниваются со значениями 95%, 97%, 99% и 99.7%. На основе проведенных исследований были получены следующие результаты тестирования алгоритмов JADE и FastICA:

- Алгоритмом FastICA выделенный сигнал на фоне помех был получен в среднем в 60 раз быстрее, чем алгоритмом JADE: в 81.5 – при выделении сигнала на фоне одной помехи, в 44.7 раз – при выделении сигнала на фоне двух помех и в 53.8 раз – при выделении сигнала на фоне трех помех.

• При тестировании на точность выделения полезного сигнала из смеси с помехами, было проведено 3000 экспериментов с наличием двух помех в смеси с полезным сигналом различной формы. Таким образом, из 3000 итераций алгоритмом JADE с точностью выделения 95% было выделено 465 сигналов, в то время как алгоритмом FastICA выделен 2651 сигнал.

Таким образом, по результатам тестирования можно утверждать, что для рассмотренных типов сигналов алгоритм FastICA, в сравнении с JADE, дает более точные результаты при выделении полезного сигнала за меньшее время.

Analysis of the characteristics of signal extraction from a mixture with additive noise using the JADE and FastICA algorithms with a priori uncertainty of the signal parameters

Тяпкин P.S.

MAI, Moscow, Russia

Blind signal processing is a relatively new direction in digital signal processing. Some characteristics of signals in BSS may be unknown. There are several methods of blind signal processing, but the most commonly used method nowadays is independent component analysis, because it gives the best results in most cases.

There are several blind signal processing algorithms are based on independent component analysis. In this paper, a comparative analysis of the JADE and FastICA algorithms was carried out. To determine the accuracy of separating various shapes of signals of from a mixture with additive noise, simulation models of blind noise compensators were developed. The compensators are connected in parallel and simultaneously separate signals from mixtures with additive noise. It is assumed that noise on the receiving side is eliminated or absent. Sine, meander and sawtooth signals were used in the simulation. Harmonic and pulse signals with random amplitudes were used as interferences. The subcomponents identified as a result of the algorithm are compared with the original signals using the correlation function. The subcomponent selection accuracy is compared with values of 95%, 97%, 99% and 99.7%. The following testing results of the JADE and FastICA algorithms were obtained:

- By the FastICA algorithm, the extracted signal from mixture was received on average 60 times faster than by the JADE algorithm: 81.5 times - when the signal was extracted from only one interference, 44.7 times - when the signal was extracted from mixture of two interferences and 53.8 times - when signal was extracted from the mixture of three interferences.

- Testing the accuracy of separating a useful signal from a mixture with noises, 3000 experiments were carried out with the presence of two noises in a mixture with a useful signal of various shapes. Thus, out of 3000 iterations, 465 signals were extracted by the JADE algorithm with an extraction accuracy of 95%, with the FastICA algorithm were extracted 2651 signals.

Thus, according to the test results, it can be argued that for the considered types of signals, the FastICA algorithm gives more accurate results in less time.

Квазиоптимальное амплитудно-фазовое распределение в активной фазированной антенной решетке с моноимпульсной пеленгацией

¹Цитович А.А., ²Гринев А.Ю., ¹Батаев В.Я., ²Багно Д.В.

¹Исток, г. Фрязино, Россия

²МАИ, г. Москва, Россия

Новый этап исследований излучающих полотен активных фазированных антенных решеток (АФАР) вызван существенным прорывом вычислительных методов и средств, развитием элементной базы и технологий, усилением технических требований промышленности к характеристикам АФАР, а также поиском новых технических решений.

Авторами разработано излучающее полотно малогабаритной АФАР на основе многоканальных приемо-передающих модулей, печатных вибраторных излучателей с оптимизированной схемой возбуждения, объединенных в подрешетки со специальным амплитудным распределением, обеспечивает компактную реализацию, согласование в 10% полосе частот и секторе сканирования $\pm 60^\circ$, уровень кроссполаризационного излучения менее -20 дБ.

В то же время недостаточно исследованы вопросы, связанные с развитием принципов синтеза оптимальных АФР при поиске компромисса в суммарном и разностных режимах, а также технические решения с использованием многослойных печатных излучателей с низким уровнем кросс поляризационной составляющей, выявлением особенностей при изготовлении излучающего полотна АФАР, выявлением особенностей взаимного влияния антенных решеток (АР) на основе строгих электродинамических моделей, моделированием всей системы численными методами с последующей оптимизацией, обоснованием преимуществ технических решений.

В работе рассматривается метод, реализующий частично-независимую оптимизацию суммарно-разностных каналов пеленгации АФАР, со специальным амплитудным распределением, позволивший снизить УБЛ в суммарном канале до -23 дБ без ухудшения характеристик диаграмм направленности каналов азимутальный и угломестный.

Quasi-optimal amplitude-phase distribution in an active phased antenna array with monopulse direction finding

¹Tsitovich A.A., ²Grinev A.Y., ¹Batayev V.I., ²Bagno D.V.

¹Istok, Fryazino, Russia

²MAI, Moscow, Russia

A new stage in the research of active phased antenna arrays (AESA) is caused by a significant breakthrough in computational methods and means, the development of the element base and technologies, the strengthening of the industrial technical requirements for the characteristics of the AESA, as well as the search for new technical solutions.

The authors have developed an emitting system of small-sized AESA based on multichannel transmitting and receiving modules, printed dipoles emitters with an optimized excitation circuit, combined in subarrays with a special amplitude distribution, provides a compact implementation, matching in a 10% frequency band and a scanning sector of ± 60 degree, the level of cross-polarization radiation less than -20 dB.

At the same time, the issues related to the development of the principles of synthesis of optimal amplitude-phase distribution when searching for a compromise in the sum and difference modes, as well as technical solutions using multilayer printed emitters with a low level of the cross-polarization component, identifying features in the manufacture of AESA, identifying features mutual influence of antenna arrays on the basis of electrodynamic models, modeling the entire system by numerical methods with subsequent optimization, substantiating the advantages of technical solutions.

The paper considers a method that implements a partially independent optimization of the sum-difference direction finding channels of the AESA, with a special amplitude distribution, which made it possible to reduce the SLL in the total channel to -23 dB without degrading the characteristics of the azimuth and elevation channel patterns.

Автоматическое обнаружение кильватерных следов надводных судов на радиолокационных изображениях

Ясенцев Д.А., Елизаветина С.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Установка отметки от кильватерного следа на радиолокационных изображениях (РЛИ), как правило, выполняется оператором-дешифровщиком вручную. Однако, данная работа требует определённых временных затрат и высокой квалификации, а также не исключена возможность ошибок оператора, связанных с различными шумами на РЛИ, затрудняющими визуальное восприятие изображения. Автоматическое определение границ кильватерных следов надводных кораблей позволяет исключить возможные ошибки, обусловленные человеческим фактором. Для этого используется преобразование Радона, реализованное в математическом пакете MatLab.

Однако при автоматическом обнаружении кильватерных следов возникают некоторые ограничения, обусловленные особенностями снимков водной поверхности, ухудшающими

качество их обнаружения. К таким особенностям можно отнести шумы, возникающие из-за волнений на водной поверхности, рифы, проявляющиеся на снимке как затемненные участки, более старые следы других кораблей, случайно попавшие в зону обработки, а также спекл-шумы высокого уровня. Различные типы волн, такие как капиллярные или гравитационные, делают синопграмму на выходе функции преобразования Радона сложно читаемой, а, следовательно, увеличивается вероятность ложного определения кильватерного следа.

Для решения этой проблемы необходимо принять комплекс мер, направленный как на работу с исходным изображением, так и на обработку полученной синопграммы.

В работе были рассмотрены следующие способы борьбы с ложным определением кильватерного следа: фильтрации спекл-шума (фильтр Ли); использование функции, выделяющей границы на исходном полутоновом изображении; использование встроенных функций MatLab, повышающих контрастность изображения; коррекция синопграммы, путем подавления ярких участков, соответствующих помехам.

Опытным путем было выяснено, что наиболее точные результаты нахождения кильватерных следов дает совокупность двух мер: использование фильтра Ли и коррекция синопграммы.

Цель данной работы заключается в анализе способов уменьшения вероятности ложного обнаружения кильватерного следа судна при автоматической обработке РЛИ.

Automatic detection of wake tracks of surface vessels on radar images

Yasentsev D.A., Elisavetina S.I.

MAI, Moscow, Russia

As the rule, the operator usually performs setting of the wake marks on radar images (RLI) manually. However, this work requires a certain amount of time and high qualification, as well as causes the possibility of operator errors associated with various noises on the RLI. In general it complicates the visual perception of the processed image. Automatic detection of the wake tracks allows as to exclude possible errors caused by the human factor. For this, we use the Radon transform implemented in the MatLab math package.

However, the automatic detection of wake tracks has some limitations due to the peculiar properties of water surface images that degrade the quality of wakes detection. Noises are among these features. They occur due to disturbances on the water surface. Reefs are also such features, as well as old traces of other ships and high-level speckle noise. Different types of waves, such as capillary or gravitational waves, make the Radon transform sinogram difficult to read. This increases the probability of false detection of the wake.

It is necessary to take a set of procedures to solve this problem. They should include the preparing of original image and processing of resulting sinogram.

The following methods for false detection decreasing of wake tracks were considered: filtering speckle noise (Lee filter); using of function that highlights the borders on the original halftone image; using of built-in MatLab functions that increase the image contrast; correcting of sinogram by suppression of bright areas corresponding to noise.

It was found experimentally that the most accurate results of finding wake are obtained by a combination of two procedures. They include the use of the Lee filter and correction of sinogram.

The purpose of presented work conclude in analysis of the ways for reducing of false detection probability for a ship's wake during automatic radar processing.

Оценка тангенциальной составляющей вектора скорости наземной движущейся цели в РСА при поступательном движении фазового центра реальной антенны

Ясенцев Д.А., Кучмий А.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Селекция наземных движущихся целей (СНДЦ) является одним из основных режимов функционирования бортовых радиолокационных комплексов, предназначенных для обзора подстилающей поверхности. Сложности решения данной задачи возникают из-за малых скоростей движения и небольших габаритов наблюдаемых наземных целей. В режиме СНДЦ

решаются задачи определения местоположения НДЦ, оценки её радиальной и тангенциальной составляющих вектора скорости, и индикации на фоне радиолокационного изображения подстилающей поверхности.

Обнаружение малоразмерных НДЦ в бортовых РЛС обзора подстилающей поверхности осуществляется совместно с режимом синтезирования апертуры антенны, который реализуется путём длительного когерентного накопления траекторного сигнала при поступательном движении носителя РЛС. Использование режима синтезирования апертуры антенны позволяет повысить разрешающую способность РЛС по углу, что позволяет существенно повысить соотношение «сигнал-фон» в элементе разрешения для наблюдаемых подвижных целей. Недостатком подобных подходов при СНДЦ становится миграция отметки НДЦ по азимуту, для компенсации которой требуется использование многоканальных (моноимпульсных или интерферометрических) антенных систем РЛС и специальных алгоритмов обработки.

Наиболее сложной задачей в режиме СНДЦ является оценка тангенциальной составляющей вектора скорости НДЦ. Сложность данной задачи обусловлена тем, что изменение расстояния вследствие движения цели поперёк линии визирования, а, следовательно, и изменение фазовой структуры сигнала, очень мало. Исследования показали, что существенного изменения вида отклика при наличии тангенциальной скорости цели по сравнению с неподвижной целью не происходит.

Для обнаружения целей, двигающихся с тангенциальной скоростью, предложена дополнительная обработка траекторного сигнала, возникающего при поступательном движении фазового центра реальной антенны, заключающаяся в разбиении реализации сигнала на две подапертуры, с их последующей совместной обработкой, позволяющей выделить разность фаз сигналов подапертур. Приведены результаты моделирования, показывающие возможность реализации описанной обработки.

Estimation of the tangential component of the velocity vector of the ground moving target in SAR during the forward movement of the phase center of the real antenna

Yasentsev D.A., Kuchmiy A.D.

MAI, Moscow, Russia

Ground moving targets indication (GMTI) is one of the main modes of operation of airborne radar systems designed to review the underlying surface. The complexity of solving this problem occur because of small velocity and small dimensions of the observed terrestrial targets. In the GMTI mode, the problems of determining the location of the GMT, assessing its radial and tangential components of the velocity vector, and indication against the background of the radar image of the underlying surface are solved.

Detection of small-sized GMT in the onboard radar survey of the underlying surface is carried out in conjunction with the mode of synthesizing the antenna aperture, which is implemented by a long coherent accumulation of the trajectory signal in the translational motion of the radar carrier. Use of synthetic aperture antenna allows you to increase resolution of the radar angle, which allows to significantly increase the ratio of "signal to background" in the permission entry for observable moving targets. The disadvantage of such approaches in the GMT is the migration of the GMT azimuth level, which requires the use of multi-channel (monopulse or interferometric) radar antenna systems and special processing algorithms to compensate.

The most difficult task in the GMTI mode is to estimate the tangential component of the GMT velocity vector. The complexity of this problem is due to the fact that the change in distance due to the movement of the target across the line of sight, and, consequently, the change in the phase structure of the signal is very small. Studies have shown that a significant change in the type of response in the presence of the tangential velocity of the target in comparison with the stationary target does not occur.

For the detection of targets moving at tangential speed, an additional processing of the tractor signal arising during the forward movement of the PC RA is proposed, which consists in splitting the signal implementation into two sub-apertures, with their subsequent joint processing, allowing

to distinguish the phase difference of the signal sub-apertures. The results of modeling, showing the possibility of the described processing.

5. Ракетные и космические системы

5. Rocket and Space Systems

Средства имитации тепловых процессов при испытаниях радиоэлектронных устройств космических аппаратов

¹Алексеев В.А., ²Титова А.С.

¹МАИ, ²НИИТП, г. Москва, Россия

Внедрение новых методов адекватной имитации условий жизнедеятельности БРЭА в космосе было вызвано тем, что отрабатывать параметры малогабаритной БРЭА в больших термовакуумных камерах, обычно принадлежащих разработчикам КА, становится все более не целесообразно, так как увеличиваются финансовые расходы и время разработки БРЭА, особенно при отработке антенно-приборных блоков.

В ходе нашего исследования было разработано несколько универсальных имитационных стендов в малогабаритных термовакуумных камерах (ТВК) цилиндрической формы, преимущественно с рабочим объемом не более 1-2 м³ и вакуумом от 1,33×10⁻⁴ Па (10⁻⁶ мм рт. ст.).

Типовой стенд содержит малогабаритную ТВК с криогенным экраном и соосным ему дополнительный съемным экраном. Последний выполнен из материала с высокой теплопроводностью и нанесенным на его внутреннюю наружную поверхности покрытием с максимальной степенью черноты.

Приспособление в виде имитатора термоплаты КА предназначено для установки изделия на термостабильную поверхность внутри объема, ограниченного дополнительным экраном. В кольцевой полости между экранами равномерно расположены нагреватели с регулируемой мощностью. В торцевой части ТВК могут быть установлены инфракрасные нагреватели.

Особенность представленных моделей имитации тепловых процессов при наземной отработке параметров БРЭА заключается в использовании в малогабаритных ТВК низкозатратных тепловых средств, соответствующих требованиям технических заданий на разработку аппаратуры. При этом удается закончить отработку параметров БРЭА на предприятии-изготовителе, а затем представить её разработчикам КА для проведения комплексных статочных испытаний на функционирование.

Tools for simulating thermal processes while testing radio-electronic devices of spacecrafts

¹Alekseev V.A., ²Titova A.S.

¹MAI, ²JSC "RI PF", Moscow, Russia

The introduction of new methods for adequately simulating the environmental conditions of outer space under which satellite instruments operate in space is due to the fact that debugging of small-sized instruments inside large thermal-vacuum chambers (TVC), usually at spacecraft developers', is quite an expensive solution, increasing costs and development time, particularly in the case of finishing antenna units.

Several multi-purpose simulation stands for small-size cylindrical TVCs, having an working volume mainly of no more than 1-2 m³ and low pressure of 1.33×10⁻⁴ Pa (10⁻⁶ mm Hg) have been built at our institute in the course of our research.

The type test stand comprises the small-sized TVC with a cryogenic screen and additional removable screen mounted coaxially with it. The latter is made of the material with high thermal conductivity and its inner outer surface is covered with a coating with a maximum degree of blackness. There is a fixture (in a form of simulator for SC thermal board) designed to install the instrument inside a volume limited by the additional screen. Heaters with power regulation are evenly mounted between the screens inside the circular cavity. Infrared heaters may be installed in the TVC face end. SC thermostatically controlled thermal boards usually serve as a sink for dissipated thermal energy.

The peculiarity of the presented models for simulating thermal processes needed for finishing ERS instruments lies in application of low-cost thermal test facilities in accordance with the technical requirements for designing on-board satellite equipment, inside the small-size thermal vacuum chambers. At the same time, it's possible to perform final debugging of the on-board instruments at the manufacturer's plant with their subsequent transfer to the spacecraft designers for conducting final comprehensive set of acceptance tests.

Оптимизация лунных перелетов с использованием условий стационарности функции Лагранжа

Аунг М.Т.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваются импульсные перелеты КА в окрестность Луны. Математическая модель базируется на уравнениях задачи четырех тел (Земля, Луна, Солнце, КА). В общем случае задача формулируется как задача математического программирования. В качестве критерия оптимизации $f(x)$ (x – вектор выбираемых параметров схемы перелета, размерность этого вектора n) рассматривается суммарный импульс скорости, который может включать или не включать импульс скорости, требуемый для отлета КА с околоземной базовой орбиты. В качестве ограничений типа равенства $g(x)=0$ анализируются условия транспортной задачи (обеспечение вывода КА на заданную окололунную орбиту, размерность вектора g равна m). При исследовании выведения КА на круговую окололунную орбиту задача формулируется так, что число ограничений типа равенства оказывается равно $m=1$. В этом случае число выбираемых параметров схемы перелета n оказывается существенно больше числа ограничений типа равенства ($n \gg m$). Учитывая это обстоятельство, был разработан алгоритм решения задачи, базирующийся на идее метода проекции градиента. Алгоритм использует проекцию градиента критерия оптимизации на касательное пространство к гиперповерхностям ограничений типа равенства. Кроме этого анализируется решение задачи о минимизации приращения вектора выбираемых параметров схемы перелета, обеспечивающих удовлетворение ограничений типа равенства.

Разработанный подход использует условие стационарности функции Лагранжа: $\varphi = f(x) + g(x) * p$ (p – вектор множителей Лагранжа, его размерность m , $*$ – означает операцию транспонирования).

Первое слагаемое определяется приращение вектора выбираемых параметров схемы перелета x , при котором обеспечивается изменение вектора x вдоль проекции градиента критерия оптимизации $f(x)$ на гиперплоскость удовлетворения ограничений $g(x)=0$. Второе слагаемое есть минимальное приращение вектора выбираемых параметров схемы перелета ($\min(\Delta x_1 * \Delta x_2)$), при котором (с точностью до величин первого порядка малости относительно приращений) обеспечивается приращение вектора ограничений типа равенства равное Δg .

В качестве модельной задачи рассмотрена задача выведения КА на низкую (высотой 100 км) круговую полярную окололунную орбиту. Для анализируемой эпохи запуска (22.6.2022) оптимизация схемы двух импульсного перелета на эту орбиту позволила снизить требуемый импульс скорости при переходе на окололунную орбиту до 817 м/с.

Optimization of lunar flights using the stationary conditions of the Lagrange function

Aung M.T.

MAI, Moscow, Russia

Consider impulse flights of a spacecraft to near lunar orbit. The mathematical model is based on the equations of the four-body problem (Earth, Moon, Sun, and SC). The problem is formulated as a mathematical programming problem. As an optimization criterion $f(x)$ is total velocity impulse (x is selected parameters of the flight scheme, the dimension is n). As constraints of the equality type $g(x) = 0$, the conditions of the transport problem are analyzed (the dimension of the vector g is equal to m). In the study of spacecraft injection into a circular orbit, the problem is formulated as the number of equality-type constraints is equal to $m=1$. In this case, the number of selected parameters of the flight scheme n turns out to be significantly greater than the number of equality-

type constraints ($n \gg m$). Taking this circumstance, an algorithm for solving the problem was developed, based on the idea of the gradient projection method. The algorithm uses the projection of the gradient of the optimization criterion onto the tangent space to the hypersurface of equality-type constraints. In addition, the solution to the problem of minimizing the increment of the vector of the selected parameters of the flight scheme, which ensures the satisfaction of constraints of the equality type, is analyzed.

The developed approach uses the condition that the Lagrange function is stationary: $\varphi = f(x) + g(x)^*p$ (p is the vector of Lagrange multipliers, its dimension is m , $*$ means the transposition operation).

The first term is determined by the increment of the vector of the selected parameters of the flight scheme x , which ensures the change in the vector x along the projection of the gradient of the optimization criterion $f(x)$ onto the hyperplane of satisfying the constraints $g(x)=0$. The second term is the minimum increment of the vector of the selected parameters of the flight scheme ($\min(\Delta x_2^* \Delta x_2)$), at which (up to the values of the first order of smallness relative to the increments) the increment of the vector of equality-type constraints equal to Δg is provided.

As a model problem, the problem of spacecraft injection into a low (100 km altitude) circular polar circumlunar orbit is considered. For the analyzed launch epoch (22.6.2022), the optimization of the scheme of two-impulse transfer to this orbit made it possible to reduce the required velocity impulse during the transition to the circumlunar orbit to 817 m/s.

Исследование процесса отделения микроспутников из пускового контейнера

¹Бакулин В.Н., ²Анфалов А.С., ²Борзых С.В.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²РКК «Энергия», г. Королев, Россия

Запуск микроспутников (типа CubeSat) из контейнера корабля «Прогресс» может быть осуществлен и при нахождении корабля в составе орбитальной станции и на этапе автономного полета.

Проблема осуществления таких динамических операций является одной из ключевых [1-8].

Для анализа относительного движения микроспутников при безопасном расхождении с кораблем «Прогресс» и между собой, а также для обеспечения требуемых характеристик отделения – необходимой скорости их центров масс и лимитированных угловых возмущений, разработана математическая модель процесса с учетом контактного взаимодействия спутников с направляющими контейнера и пружинами.

В результате исследования оказалось возможным подобрать характеристики выталкивающих пружин и разработать рекомендации по организации выхода аппаратов из контейнера с обеспечением безударности и требуемых характеристик отделившихся спутников.

1. Бакулин В.Н., Борзых С.В., Решетников М.Н. Моделирование относительного движения вращающейся капсулы и транспортного корабля при их разделении. Вестник Московского авиационного института, 2011, т. 8, №3, С. 287-294.

2. Бакулин В.Н., Борзых С.В., Воронин В.В. Математическое моделирование процесса посадки космического аппарата на участке его контакта с поверхностью. Вестник МАИ, 2011, 18, 4, С. 38-46.

3. Бакулин В.Н., Борзых С.В., Ильясова И.Р. Математическое моделирование процесса раскрытия многоэлементных солнечных батарей. Вестник МАИ. 2011, 18, 3, С. 295-302.

4. Бакулин В.Н., Кокушкин В.В., Борзых С.В., Воронин В.В. Динамика процесса посадки космического аппарата с рычажно-тросовым посадочным устройством. Вестник МАИ, 2012. 19, 5. С. 45-50.

5. Бакулин В.Н., Борзых С.В., Воронин В.В., Кокушкин В.В. Исследование влияния свойств грунта посадочной поверхности на устойчивость процесса посадки космического аппарата с механическим посадочным устройством. Вестник МАИ, 2014, 21, 1. С. 25-32.

6. Bogomolov NV, Anfalov AS, Borzykh SV, Bakulin VN Simulation of process of small satellites separation from deployer installed on cargo spacecraft//Journal of Physics: Conference Series.2019. C. 012003. doi:10.1088/1742-6596/1392/1/012003.

7. Бакулин В.Н., Борзых С.В., Воронин В.В. Динамика посадки космического аппарата при отказе элементов его посадочного устройства. Изв. ВУЗов. Авиационная техника, 2016, №1, С. 22-26.

8. Бакулин В.Н., Борзых С.В., Богомолов Н.В. Алгоритм отделения транспортного пилотируемого корабля «Союз» от нестабилизированной Международной космической станции. Изв. ВУЗов. Авиационная техника, 2019, №4, С. 48-54.

Research of the process of the microsattellites' separation from the launch container

¹Bakulin V.N., ²Anfalov A.S., ²Borzykh S.V.

¹MAI, Moscow, Russia

²RSC Energia, Korolev, Russia

Microsatellites (CubeSat type) from the container of the Progress spacecraft can be launched both when the spacecraft is in the orbital station and at the stage of autonomous flight.

The problem of implementing such dynamic operations is one of the key ones [1-8].

To analyze the relative motion of microsattellites with a safe separation from the Progress spacecraft and among themselves, as well as to ensure the required separation characteristics – the required speed of their centers of mass and limited angular disturbances, a mathematical model of the process was developed taking into account the contact interaction of satellites with the guides container and springs.

Because of the research, it became possible to select the characteristics of the ejection springs and develop recommendations for organizing the exit of the vehicles from the launch container with the provision of shocklessness and the required characteristics of the separated satellites.

1. Bakulin V.N., Borzykh S.V., Reshetnikov M.N. Modeling the relative motion of the reentry capsule and the transport ship during their separation. Aerospace MAI Journal, 2011, v.18, № 3, pp. 287-294.

2. Bakulin V.N., Borzykh S.V., Voronin V.V. Mathematical modeling of the process of landing a spacecraft at the site of its contact with the surface. Aerospace MAI Journal, 2011, 18, 4, pp. 38-46.

3. Bakulin V.N., Borzykh S.V., Ilyasova I.R. Mathematical modeling of the process of opening multilink solar batteries. Aerospace MAI Journal, 2011, 18, 3, pp.295-302.

4. Bakulin VN., Kokushkin VV, Borzykh SV, Voronin VV. Dynamics of the landing process of a spacecraft with a lever-rope landing device. Aerospace MAI Journal, 2012, 19.5. pp.45-50.

5. Bakulin V.N., Borzykh S.V., Voronin V.V., Kokushkin V.V. Investigation of the effect of soil properties of the landing surface on the stability of the landing process of a spacecraft with a mechanical landing gear. Aerospace MAI Journal. 2014, 21, 1. pp. 25-32.

6. Bogomolov N.V., Anfalov A.S., Borzykh S.V., Bakulin V.N. Simulation of process of small satellites separation from deployer installed on cargo spacecraft. Journal of Physics: Conference Series. 2019. C. 012003. doi:10.1088/1742-6596/1392/1/012003.

7. Bakulin VN, Borzykh SV, Voronin VV. Space vehicle landing dynamics at failure of landing gear. Russian Aeronautics. 2016, V.59, №1, pp. 23-28.

8. V.N. Bakulin, N.V. Bogomolov, S.V. Borzykh. Separation Algorithm of the Soyuz MS Spacecraft from Nonstabilized International Space Station. Russian Aeronautics, 2019, 62, 4, pp. 577-584.

Статистическое моделирование аэродинамических характеристик

Балык В.М., Вакульчук В.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В процессе разработки аэродинамических моделей летательных аппаратов ряд существенных особенностей аэродинамического обтекания остается не учтенным, и лишь летные испытания или аэродинамические продувки позволяют нужным образом дополнить аэродинамическую модель.

Теоретической моделью при этом является модель движения летательного аппарата, которая трактуется как базисная, корректируемая по данным эксперимента. Как правило, аэродинамическая модель включает в себя расчет коэффициентов лобовой, подъемной и боковой сил, коэффициентов моментов тангажа, рыскания и крена, каждый из которых нелинейно зависит от углов атаки и скольжения, угловых скоростей, углов отклонения горизонтальных и вертикальных рулей, числа Маха.

В задаче необходимо восстановить зависимости для аэродинамических коэффициентов в функции от кинематических параметров летательного аппарата, которые представлены экспериментальными данными.

В качестве критерия оценки точности аэродинамических коэффициентов используется критерий регулярности, который представляет собой квадрат разности между экспериментальными и модельными значениями аэродинамических коэффициентов. Значения критерия регулярности рассчитываются по полиному, связывающему аэродинамические коэффициенты с кинематическими параметрами. Эта связь представлена в виде различных перекрестных связей между кинематическими параметрами.

Особо важно сказать, что восстанавливать аэродинамические коэффициенты достаточно на относительно малом начальном участке полета, дальнейшие значения аэродинамических коэффициентов могут быть получены по прогнозным зависимостям.

Литература:

1. Балык В.М. «Статистический синтез проектных решений при разработке сложных систем» – М: Изд-во МАИ, 2011 г. – 280 с.

Statistical Modeling of Aerodynamic Characteristics

Balyk V.M., Vakulchuk V.I.

MAI, Moscow, Russia

In the process of developing aerodynamic models of aircraft, a number of essential features of aerodynamic flow remain unaccounted and only flight tests or wind-tunnel tests make it possible to complement the aerodynamic model.

The theoretical model is the model of the movement of the aircraft, which is interpreted as the basic one, corrected according to the experimental data. Usually, the aerodynamic model includes the calculation of the drag coefficient, lift coefficient and lateral force coefficient, the pitching moment coefficient, yawing moment coefficient and rolling moment coefficient, which nonlinearly depend on the angle of attack, sideslip angle, the angular velocities, the angle of elevator deflection and angle of rudder deflection, the Mach number.

In the problem, it is necessary to reconstruct the dependencies for the aerodynamic coefficients as a function of the kinematic parameters of the aircraft, which are presented by the experimental data.

As a criterion for assessing the accuracy of aerodynamic coefficients, the regularity criterion is used, which is the square of the difference between the experimental and model values of aerodynamic coefficients. The values of the regularity criterion are calculated using the polynomial linking the aerodynamic coefficients with the kinematic parameters. This relationship is presented in the form of various cross-coupling between kinematic parameters.

It is important to note that it is sufficient to reconstruct the aerodynamic coefficients on a relatively small initial flight section. Further values of the aerodynamic coefficients can be obtained from the predictive functions.

References:

1. Balyk V.M. "Statistical synthesis of design decisions in the development of complex systems" - M.: Publishing House of the Moscow Aviation Institute, 2011 - 280 p.

Оценка надежности уриноприемника системы жизнеобеспечения для длительных космических полетов

Белозерова И.Н., Кудрявцева Н.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В условиях длительных космических полетов происходят перераспределение жидкостных сред и изменение водно-солевого обмена у человека, приводящие к обезвоживанию тканей,

снижению объема циркулирующей крови, уменьшению содержания в тканях ряда элементов, в частности калия, кальция и натрия. Для изучения влияния нарушений водно-солевого обмена на организм человека в условиях невесомости необходимо обеспечить правильный сбор и хранение биологической жидкости (урины) с последующей транспортировкой на Землю для проведения биохимического анализа проб. Сбор урины в условиях невесомости производится в специальное устройство – уриноприемник. Устройство для сбора урины – это необходимое медицинское оборудование на борту пилотируемого космического аппарата. В условиях длительных межпланетных полетов оно должно обладать высокой надежностью в работе на срок три года с учетом перспективы полета на Марс и не снижать надежность системы жизнеобеспечения путем негативного воздействия на газовую среду гермомодуля [1, 2].

Предложено техническое решение по выбору материала и параметров уриноприемника, удовлетворяющее требованиям национальных и международных стандартов (ГОСТ Р ИСО 8669-2-2019, ГОСТ 28210-89, ГОСТ ISO11135-2017), и обеспечивающее отсутствие протекания и утечки газов, прочность крепления дренажной трубки, прочность при воздействии вакуума и механических нагрузок на разрыв при удлинении. Выбран биосовместимый с человеком материал – пленка ПЭТ-Пта-Л 05601, стерилизация производится оксидом этилена.

Таким образом, предлагаемое техническое решение устройства для сбора суточной урины у космонавтов будет обладать высокой надежностью и безопасностью при эксплуатации при долговременных космических полетах.

Литература:

1. Белозерова И.Н., Кудрявцева Н.С. Оценка показателей надежности и суммарной эквивалентной массы систем жизнеобеспечения космических полетов в дальний космос. В книге: Авиация и космонавтика – 2019, тезисы. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2019. С. 131.

2. Кудрявцева Н.С., Сорокин А.Е. Сравнительная оценка надежности и расчет затрат при проектировании систем жизнеобеспечения для долговременных космических полетов // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54. № 2. С. 30-37.

Evaluation of the reliability of the life support system urine collection bag for long-term space flights

Belozerova I.N., Kudryavtseva N.S.
MAI, Moscow, Russia

Under conditions of long-term space flights, a redistribution of liquid media and a change in water-salt metabolism in humans occur, leading to dehydration of tissues, a decrease in the volume of circulating blood, a decrease in the content of a number of elements in tissues, in particular potassium, calcium and sodium. To study the effect of disturbances in water-salt metabolism on the human body under zero gravity conditions, it is necessary to ensure the correct collection and storage of biological fluid (urine) with subsequent transportation to the Earth for biochemical analysis of samples. Collection of urine in zero gravity is carried out in a special device - urine collection bag. The urine collection bag is an essential medical equipment aboard a manned spacecraft. In the conditions of long interplanetary flights, it should have high reliability in operation for a period of three years, taking into account the prospects of a flight to Mars and not reduce the reliability of the life support system by negatively affecting the gas environment of the hermetic module [1, 2].

A technical solution has been proposed for the choice of material and parameters of the urine collection bag, which meets the requirements of national and international standards (GOST R ISO 8669-2-2019, GOST 28210-89, GOST ISO11135-2017) and ensures the absence of gas and urine leakage, the strength of the drain tube fastening, strength when exposed to vacuum and mechanical tensile stress at elongation. A biocompatible material with humans was selected – PET-Pta-L 05601 film, sterilization process is performed with ethylene oxide.

Thus, the proposed technical solution of the device for collecting daily urine from cosmonauts will have high reliability and safety during operation on long-term space flights.

References:

1. Belozeroва I.N., Kudryavtseva N.S. Assessment of Reliability and Total Equivalent Mass Metrics of Life Support Systems for Space Flights Deep Space. In the book: Aviation and Cosmonautics – 2019, theses. Moscow Aviation Institute (National Research University). 2019. P. 436-437.

2. Kudryavtseva N.S., Sorokin A.E. Comparative Reliability Assessment and Costing of Life Support Systems for Extended Interplanetary Missions // Aerospace and Environmental Medicine. 2020. V.54. # 2. P. 30-37.

Выбор конструкций тепловых аккумуляторов с фазопереходным рабочим веществом

¹Белявский А.Е., ¹Сорокин А.Е., ²Евстратов С.В.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²РКК «Энергия», г. Королёв, Россия

Для осуществления космических полетов на борту космического аппарата должна быть создана эффективная система обеспечения теплового режима, поддерживающая тепловые условия работы экипажа, бортовых систем, приборных комплексов и элементов конструкции КА. Решением, позволяющим уменьшить габаритные и массовые характеристики радиационного теплообменника – самого крупного агрегата системы обеспечения теплового режима, является использование теплового аккумулятора фазопереходным (плавящимся) рабочим веществом.

Для перспективных тепловых аккумуляторов с плавящимся рабочим веществом рассмотрены различные конструктивные схемы. Проанализированы пять геометрических схем аккумуляторов [1,2]. При выполнении анализа в работе стремились максимально использовать теплоаккумулирующую способность материала с фазовым переходом и свести к минимуму паразитный эффект материалов оболочки и контейнера. В качестве теплоаккумулирующего вещества с фазовым переходом был выбран гидрат лития (LiH) [3].

Анализ показал, что сферическая форма может дать наибольший характерный размер элементарной ячейки. Однако она также дает и наибольший коэффициент потерь, т.е. наибольшую паразитную массу. Далее, конфигурация со сферической формой капсул дает наибольшее количество элементарных ячеек на аккумулятор, что может быть недостатком с точки зрения производства и стоимости. Конфигурация с параллельными пластинами дает наименьший коэффициент потерь в отношении массы и наименьшее количество элементарных ячеек. Сравнение плотностей аккумулированной энергии и мощности показало, что наилучшие характеристики имеет конфигурация с рядом параллельных пластин.

Из приведенного анализа следует вывод, что для систем обеспечения теплового режима КА предпочтительно использовать тепловые аккумуляторы, выполненные в виде параллельных пластин фазопереходного вещества, между которыми протекает теплоноситель.

Литература:

1. Белявский А.Е., Сорокин А.Е., Строгонова Л.Б., Шангин И.А. Выбор процессов теплоаккумулирования в системах обеспечения теплового режима космических аппаратов.- Сетевое издание Труды МАИ №103, 2018 E-library <http://www.trudymai.ru>

2. Borshchev N.O., Sorokin A.E., Belyavskii A.E. External Heating of Spacecraft// Russian Engineering Research. Vol. 40. –Is. 2. –2020. – P. 168–170.

3. Borshchev N.O., Sorokin A.E., Belyavskii A.E. Heat Pipe with a Thermal Hydraulic Store// Russian Engineering Research. Vol. 40. –Is. 2. –2020. – P. 175–178.

Selection of designs of thermal accumulators with phase-shifting working substance

¹Belyavskii A.E., ¹Sorokin A.E., ²Evstratov S.V.

¹MAI, Moscow, Russia

²RSC "Energia", Korolev, Russia

To carry out space flights, an effective thermal management system must be created on Board the spacecraft that supports the thermal working conditions of the crew, on-Board systems, instrument complexes and SPACECRAFT design elements. The solution to reduce the overall and mass characteristics of the radiation heat exchanger – the largest unit of the thermal regime system-is the use of a heat accumulator with a phase-shifting (melting) working substance.

Various design schemes are considered for promising thermal accumulators with a melting working substance. Five geometrical schemes of accumulators are analyzed [1,2]. When performing the analysis, we tried to maximize the heat storage capacity of the material with a phase transition and minimize the parasitic effect of the shell and container materials. Lithium (Li) hydrate was chosen as a heat-accumulating substance with a phase transition [3].

The analysis showed that the spherical shape can give the largest characteristic size of the unit cell. However, it also gives the highest loss coefficient, i.e. the highest parasitic mass. Further, the spherical capsule configuration provides the largest number of unit cells per battery, which may be a disadvantage in terms of production and cost. The configuration with parallel plates gives the lowest mass loss coefficient and the smallest number of unit cells. Comparison of the accumulated energy and power densities showed that the configuration with a number of parallel plates has the best characteristics.

From the above analysis, it is concluded that for systems to ensure the thermal regime of the spacecraft, it is preferable to use thermal accumulators made in the form of parallel plates of a phase-transition substance, between which the coolant flows.

References:

1. Belyavsky A.E., Sorokin A.E., Stroganova L.B., Shangin I.A. Selection of heat storage processes in systems for ensuring the thermal regime of spacecraft.- Online publication Proceedings of MAI No. 103, 2018 E-library <http://www.trudymai.ru>
2. Borshchev N.O., Sorokin A.E., Belyavskii A.E. External Heating of Spacecraft// Russian Engineering Research. Vol. 40. –Is. 2. –2020. – P. 168–170.
3. Borshchev N.O., Sorokin A.E., Belyavskii A.E. Heat Pipe with a Thermal Hydraulic Store// Russian Engineering Research. Vol. 40. –Is. 2. –2020. – P. 175–178.

Тепломассоперенос, сепарация и рекуперация тепловой энергии в системе регенерации воды из урины на международной космической станции

¹Бобе Л.С., ²Аракчеев Д.В., ²Кочетков А.А., ³Андрейчук П.О.

¹МАИ, г. Москва, Россия

³РКК «Энергия», г. Королёв, Россия

Регенерация воды из урины (мочи), выделяемой космонавтами, является одной из важнейших составляющих водообеспечения экипажей в пилотируемом космическом полете. Регенерация воды осуществляется методом дистилляции с последующей очисткой дистиллята сорбционно-каталитическим методом. Наиболее сложной проблемой при создании системы регенерации воды из урины для космической станции является организация процессов дистилляции и сепарации в условиях микрогравитации. Кроме того, дистилляция является энергозатратным процессом, в связи с чем требуется минимизировать затраты энергии на дистилляцию путём рекуперации.

Впервые в мировой практике система регенерации воды из урины СРВ-У работала на модуле «Квант» ОКС «Мир» Система была основана на наиболее простом и надёжном методе атмосферной мембранной дистилляции с паровоздушным тепловым циклом.

На МКС испытывается в настоящее время система, основанная на методе вакуумной дистилляции в центробежном многоступенчатом вакуумном дистилляторе. В вакуумном дистилляторе реализованы процессы тонкоплёночного испарения и конденсации в центробежном поле с рекуперацией теплоты конденсации для испарения. Разность

температур создаётся за счёт перепада давлений. При наличии “n” ступеней конденсация – испарение затрагивает энергию для одной и той же производительности по дистилляту снижаются в “n” раз. Встроенные черпаковые насосы дистиллятора обеспечивают циркуляцию урины и дистиллята через термоэлектрический тепловой насос, обеспечивающий дополнительную рекуперацию энергии. Расчётный коэффициент рекуперации тепловой энергии составляет 10-12. Конденсация водяного пара перед выходом из дистиллятора осуществляется в камере конденсации на поверхности циркулирующего дистиллята из парогазовой среды. Этот процесс определяется законами диффузионно-конвективного теплопереноса, интенсивность которых рассчитывается с использованием расширенной аналогии между массообменом и теплообменом. Конструктивная организация процессов теплообмена и сепарации обеспечивает их независимость от гравитации, что позволяет провести их отработку в наземных условиях.

Результаты испытаний системы на МКС подтвердили работоспособность процесса, отсутствие капельного уноса при испарении воды из урины, полную сепарацию пара и дистиллята, соответствие процессов тепло- и массообмена результатам наземных испытаний, требуемое качество и возможность использования дистиллята для получения электролизного кислорода и питьевой воды.

Heat and mass transfer, separation and recovery of thermal energy in the urine water recovery system on the International Space Station

¹Bobe L.S., ²Arakcheev D.V., ²Kochetkov A.A., ³Andreychuk P.O.

¹MAI, ²NIICHTMASH, Moscow, Russia

³RSC Energia, Korolev, Russia

Water regeneration from urine released by astronauts is one of the most important components of crews' water supply in a manned space flight. Water regeneration is carried out by distillation with subsequent purification of the distillate by sorption-catalytic method. The most difficult problem in creating a system for the regeneration of water from urine for the space station is the organization of distillation and separation processes in microgravity. In addition, distillation is an energy-consuming process, and therefore it is necessary to minimize the energy cost of distillation by heat recovery.

For the first time in world practice, the SRV-U water regeneration system operated on the Kvant-2 module of the “Mir” space station. The System was based on the simplest and most reliable method of atmospheric membrane distillation with a steam-air heat cycle.

A system based on the vacuum distillation method in a rotary multi-stage vacuum distiller is currently being tested on the ISS. The vacuum distiller implements the processes of thin-film evaporation and condensation in a centrifugal field with the recovery of condensation heat for evaporation. The temperature difference is created by the pressure drop. If there are “n” stages of condensation – evaporation, the energy costs for the same distillate capacity are reduced by “n” times. The distiller's built-in scoop pumps circulate the urine and distillate through a thermoelectric heat pump, providing additional energy recovery. The calculated coefficient of heat recovery is 10-12. Condensation of water vapor before leaving the distiller is carried out in a condensation chamber on the surface of the circulating distillate from the vapor-gas medium. This process is determined by the laws of diffusion-convective heat and mass transfer, the intensity of which is calculated using an extended analogy between mass transfer and heat exchange. The constructive organization of heat and mass transfer and separation processes ensures their independence from gravity, which allows them to be tested in ground conditions.

The results of testing the system on the ISS confirmed the efficiency of the process, the absence of drip entrainment during evaporation of water from the urine, complete vapor and distillate separation, compliance of heat and mass transfer processes with the results of ground tests, the required quality and the possibility of using distillate to produce electrolytic oxygen and drinking water.

Статистический метод построения функции Ляпунова при исследовании беспилотного летательного аппарата на устойчивость

Бородин И.Д., Бальк В.М.

МАИ, г. Москва, Россия

При проектировании беспилотного летательного аппарата (БЛА) очень важно с необходимой и обоснованной детализацией разработать его математическую модель. Построение моделей БЛА является неотъемлемой частью проектирования. Как правило, проектирование БЛА ведется в условиях неконтролируемых факторов, которые оказывают значительное влияние на результаты проектных процедур, а также делают задачу проектирования БЛА неоднозначной в вопросах оптимальности проектных решений. Для решения проектной задачи и снятия неоднозначности в понимании оптимальности необходимо, чтобы БЛА обладал свойствами динамической устойчивости.

В настоящее время, функция Ляпунова является одним из основных инструментов, который применяется при исследовании устойчивости БЛА. Такая функция строится для каждого отдельного случая, с использованием особенностей изучаемой динамической системы.

В настоящей работе рассматривается регулярный метод построения функции Ляпунова, основанный на статистическом синтезе сложных систем. Функция Ляпунова строится в виде квадратичной формы с неизвестными линейными коэффициентами, которые варьируются исходя из условий знакопостоянства функции Ляпунова и её производной по времени. Данные линейные коэффициенты определяются в результате глобальной оптимизации (минимизации) разработанного критерия, а в качестве интегрируемых функций для квадратичной формы служат: скорость, угол наклона траектории, курс, дальность, высота, боковое смещение и прочие параметры полета БЛА. Если в процессе оптимизации минимум критерия знакопостоянства не достигает нуля, то динамическая система не устойчивая. В методе допускается другой режим работы, когда устойчивость БЛА не констатируется, а создается за счет варьирования проектными параметрами по критерию знакопостоянства.

Метод был апробирован на задаче расчета траектории движения БЛА. Полученные результаты показали хорошую идентифицируемость устойчивости аппарата.

Statistical method for constructing the Lyapunov function in the study of an unmanned aerial vehicle for stability

Borodin I.D., Balyk V.M.

MAI, Moscow, Russia

When designing an unmanned aerial vehicle (UAV), it is very important to develop its mathematical model with the necessary and reasonable detail. The construction of models of UAV is an integral part of the design. As a rule, UAV design is carried out under conditions of uncontrolled factors that have a significant impact on the results of design procedures, and also MAKE the task of designing UAV ambiguous in terms of optimal design solutions. To solve the design problem and remove ambiguity in the understanding of optimality, it is necessary that the UAV has dynamic stability properties.

Currently, the Lyapunov function is one of the main tools used in the study of UAV stability. This function is constructed for each individual case, using the features of the dynamical system under study.

In this paper, we consider a regular method for constructing the Lyapunov function based on statistical synthesis of complex systems. The Lyapunov function is constructed as a quadratic form with unknown linear coefficients that vary based on the sign-constant conditions of the Lyapunov function and its time derivative. These linear coefficients are determined as a result of global optimization (minimization) of the developed criterion, and as integrable functions for the quadratic form are: speed, trajectory angle, course, range, altitude, lateral displacement, and other UAV flight parameters. If the minimum of the sign-constant criterion does not reach zero during optimization, then the dynamic system is not stable. The method allows a different mode of operation, when the

stability of the UAV is not established, but is created by varying the design parameters according to the sign-constancy criterion.

The method was tested on the problem of calculating the UAV trajectory. The results obtained showed good identifiability of the device stability.

Варианты проектного облика лунной пилотируемой транспортной системы с использованием околоземной орбитальной инфраструктуры

Бычков А.Д., Попов Д.А., Ковалёв И.И.
РКК «Энергия», г. Королёв, Россия

Одной из важнейших стратегических целей российской пилотируемой космонавтики является исследование и освоение Луны. Для достижения этой цели потребуются выведение полезных грузов большой массы на околоземные орбиты. Поэтому развитие лунной пилотируемой программы неразрывно связано с развитием отечественной системы средств выведения. Используемые в Лунной программе РН должны решать и другие задачи, не связанные с Лунной программой. Эти РН должны быть конкурентоспособными на мировом рынке пусковых услуг.

Для этого авторами предлагается:

- На начальных этапах лунной пилотируемой программы использовать РН среднего и тяжелого класса.
- Обеспечить возможность постепенного перехода к РН сверхтяжелого класса на последующих этапах.
- Снизить требования по грузоподъёмности РН СТК. Сделать целесообразным использование РН СТК для решения альтернативных прикладных задач.
- Предусмотреть возможность использования в лунной пилотируемой программе многоразовых РН.

Этим условиям отвечает схема пилотируемой экспедиции на Луну со сборкой Лунного экспедиционного комплекса (ЛЭК) на низкой околоземной орбите.

Аналогично транспортным кораблям для МКС, элементы ЛЭК могут длительное время храниться на орбите, поэтому перенос пуска или потеря любого элемента не приводит к потере других элементов. Обеспечивается высокая надёжность транспортной системы. Сборка, дозаправка и длительное хранение элементов ЛЭК осуществляются с помощью сборочно-заправочных космических аппаратов.

Использование сборочной инфраструктуры на околоземной орбите позволяет значительно снизить требования по грузоподъёмности РН СТК. Основным критерием выбора РН для Лунной программы становится не масса ПН, выводимая одним пуском, а стоимость выведения одного килограмма ПН. Для выведения дополнительных кислородных баков могут быть использованы практически любые РН, если это экономически оправдано.

Предлагаемая транспортная система позволяет функционально объединить два основных направления развития российской пилотируемой космонавтики: орбитальную станцию и лунную программу, снижая общие затраты и повышая прикладное значение каждого из направлений.

Crewed lunar transportation system design options using low earth orbit infrastructure

Bychkov A.D., Popov D.A., Kovalev I.I.
RSC "Energia", Korolev, Russia

One of the most important strategic goals of Russian manned space program is the exploration and development of the Moon. To achieve this goal, high-mass payloads will need to be placed in low-earth orbits. Therefore, the development of the lunar manned program is inextricably linked with the development of the national system of launch vehicles. The LV used in the Lunar program must also perform missions that are not related to the Lunar program. These launch vehicles must be competitive in the global launch services market.

To meet these conditions authors suggest:

- At the initial stages of the manned lunar program, use medium-and heavy-LV.
- Provide the ability to use superheavy LV at subsequent stages of the manned lunar program.

- Reduce superheavy LV payload capability requirements, enabling its efficient usage in commercial programs.
- Enable reusable launch vehicles application in the manned lunar program.

These conditions are met by the crewed Moon Mission scheme with lunar expeditionary complex (LEC) assembly on low Earth orbit.

Similar to transport ships for the ISS, LEC elements can be stored on orbit for a long time. Therefore, launch postponing or any element loss over the ascend will not result in the loss of any other elements. High reliability of the transportation system is secured. Assembly and refueling spacecraft provide assembly, refueling and long-term storage of LEC elements. LEC elements can be launched by medium, heavy or super-heavy launch vehicles.

Low earth orbit infrastructure usage allows to significantly reduce superheavy LV payload capability requirements. The main selection criteria for a lunar manned program LV is not the single launch payload capability, but the launch cost per kilogram of payload. Auxiliary oxygen tanks can be launched by almost any LV if it is economically efficient.

The proposed transportation system allows us to functionally combine two main directions of the Russian manned cosmonautics: the orbital station and the lunar program, reducing overall costs and increasing the applied value of each direction.

Методика выбора структуры и параметров высокоточной дозирующей установки на базе весоизмерительного оборудования систем заправки разгонных блоков, блоков выведения и космических аппаратов ракет космического назначения

Валяев О.А.

МАДИ, г. Москва, Россия

В настоящее время методы и оборудование дозирования компонентов ракетного топлива являются составной частью технологий заправки баков космических аппаратов, разгонных блоков ракет космического назначения. Одним из важнейших показателей являются методы весового дозирования, как наиболее точные из известных методов. Диапазон доз КРТ, заправляемых в баки КА и РБ, достаточно широк: от нескольких килограмм до 14 тонн.

На этапах создания и эксплуатации высокоточных средств заправки разгонных блоков и космических аппаратов ракет космического назначения с применением высокоточных дозирующих установок на базе весоизмерительных технических средств необходимо обеспечить проведение экспериментальных исследований и испытаний, а также подготовку боевых расчетов заправки перед проведением работ по заправке изделий, повышение квалификации расчетов заправки при освоении новых технологий заправки, при отработке порядка действий в условиях нештатных ситуаций, в том числе, при пропадании электроснабжения от внешней сети, от систем внутреннего и автономного электроснабжения.

Поэтому необходимо совершенствовать конструктивно-компоновочные схемы и технические решения по созданию высокоточной дозирующей установки, разрабатывать новые результаты моделирования, экспериментальных исследований и усовершенствованные методики оценки показателей и характеристик установки

На данный момент существуют 3 способа и алгоритма заправки разгонных блоков и космических аппаратов ракет космического назначения с применением средств весового дозирования.

1. Заправка малых доз компонента с помощью весоизмерительных устройств модульного исполнения.
2. Заправка малых доз при помощи транспортируемых средств заправки.
3. Заправка изделий по методу многопорционного весового дозирования.

Проведенный анализ состава и параметров весоизмерительного оборудования высокоточных дозирующих установок показал, что самым надежным и точным методом заправки разгонных блоков, блоков выведения и космических аппаратов ракет космического назначения является метод многопорционного весового дозирования. Экспериментально доказано, что максимальное значение погрешности выдаваемой дозы не превышает 0,08%.

Выполненные исследования позволили обосновать выбор способа заправки, разработать алгоритмы и схемные решения по реализации многопорционной заправки с применением предлагаемых конструкций средств весового дозирования.

Methods for choosing the structure and parameters of a high-precision dosing unit based on weighing equipment for refueling systems for upper stages, launch units and spacecraft for space rockets

Valyaev O.A.

MADI, Moscow, Russia

At present, methods and equipment for dosing propellant components are an integral part of technologies for refueling tanks of spacecraft, upper stages of space rockets. One of the most important indicators is the methods of weight dosing, as the most accurate of the known methods. The range of MRT doses to be filled into the spacecraft and RB tanks is quite wide: from several kilograms to 14 tons.

At the stages of creating and operating high-precision means of refueling of upper stages and spacecraft of space rockets with the use of high-precision dosing installations based on weighing technical means, it is necessary to ensure the conduct of experimental research and testing, as well as the preparation of combat calculations of refueling before carrying out work on refueling products, improving the qualifications of calculations refueling when mastering new refueling technologies, when working out the order of actions in emergency situations, including when the power supply from the external network is lost, from the internal and autonomous power supply systems.

Therefore, it is necessary to improve the structural and layout schemes and technical solutions for creating a high-precision dosing unit, to develop new results of modeling, experimental research and improved methods for assessing the indicators and characteristics of the unit.

At the moment, there are 3 methods and algorithms for refueling upper stages and spacecraft of space rockets using weighing dosing means.

1. Filling of small doses of a component using modular weighing devices.
2. Refueling of small doses using transported refueling means.
3. Filling products by the method of multi-portion weight dosing.

The analysis of the composition and parameters of the weighing equipment of high-precision dosing plants showed that the most reliable and accurate method of refueling the booster blocks, launch blocks and spacecraft of space rockets is the method of multi-portion weight dosing. It has been experimentally proven that the maximum value of the error of the delivered dose does not exceed 0.08%. The studies performed made it possible to substantiate the choice of the filling method, develop algorithms and circuit solutions for the implementation of multi-portion filling using the proposed designs of weighing dosing means.

К вопросу об экспериментальных и математических исследованиях в области создания методов и средств медико-психологического контроля для пилотируемой лунной экспедиции

Гардуньо Родригес Аарон, Васин Ю.А., Сафронова К.П., Строгонова Л.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

Перспективной проблемой для исследования в области пилотируемой космонавтики является создание методов и средств для планируемой пилотируемой лунной миссии. Среди них важную роль занимает вопрос создания нового метода медико-психологического контроля членов лунной экспедиций, позволяющего предотвратить чрезвычайные ситуации в необычных для человеческого организма условиях. Подобные методы и средства основываются на следующих основных принципах: патогенетическом, выявлении корреляционной зависимости между физиологическими и психологическими регистрируемыми параметрами, простоте методики регистрации, а также на отсутствии у человека дискомфорта от устройства. Несколько научных коллективов работает в этой области. В докладе рассмотрены исследования, проводимые в России студентами и специалистами аэрокосмического института МАИ.

Проведя исследование литературных и имеющихся экспериментальных источников, разработчики столкнулись с проблемой отсутствия достоверных данных о корреляции между психологическими и физиологическими, измеряемыми в медицинском контроле, параметрами, подтвержденными в модельных и клинических условиях. Так, для интересных исследователям зависимостей между психофизиологическим состоянием и одним из индикаторов энергетического обмена (глюкозой), экспериментального или клинического массива данных не найдено. Существуют данные о зависимостях между уровнем стрессорных гормонов и электрическими потенциалами мозга человека. Предложено провести исследования по оригинальной методике, принятой в космической медицине, позволяющей оценить изменение глюкозы в режиме реального времени эксперимента неинвазивным методом, используя спектроскопию. Одновременно с этим предлагается определять у испытуемых уровень стрессорных гормонов, и снимать данные электроэнцефалограммы. Уровень стресса ограничен выполнением когнитивных тестов, апробированных в космической медицине. Методика исследования и предложенные методы математического анализа материалов исследования, рассматриваются в докладе. Экспериментальные исследования и математическая обработка проводятся при участии студентов аэрокосмического института МАИ. В перспективе планируется проведение наземного модельного эксперимента на базе НЭК ГНЦ РФ ИМБИ РАН в рамках международной программы "Сириус".

To the question of experimental and mathematical research in the field of creating methods and means of medical and psychological control for a manned lunar expedition

Guardiño Rodriguez Aaron, Vasin Y.A., Safronova K.P., Strogonova L.B.

MAI, Moscow, Russia

A promising problem for research in the field of manned space exploration is the creation of methods and tools for the planned manned lunar mission. Among them, an important role is played by the issue of creating a new method of medical and psychological control of members of lunar expeditions, which allows to prevent emergencies in unusual conditions for the human body. Such methods and tools are based on the following basic principles: pathogenetic, detection of correlation between the physiological and psychological parameters recorded, simplicity of the registration method, as well as the absence of human discomfort from the device. Several research teams are working in this area. The report examines research conducted in Russia by students and specialists of the MAI aerospace Institute.

After conducting a study of the literature and available experimental sources, the developers were faced with the problem of the lack of reliable data on the correlation between psychological and physiological parameters measured in medical control, confirmed in model and clinical conditions. For example, no experimental or clinical data was found for the relationships between the psychophysiological state and one of the indicators of energy metabolism (glucose) that are interesting to researchers. There is evidence of a relationship between the level of stress hormones and the electrical potentials of the human brain. It is proposed to conduct research using an original method adopted in space medicine, which allows us to evaluate the change in glucose in real time by a non-invasive method using spectroscopy. At the same time, it is proposed to determine the level of stress hormones in the subjects, and to take electroencephalogram data. The stress level is limited by performing cognitive tests tested in space medicine. The research methodology and the proposed methods of mathematical analysis of research materials are discussed in the report. Experimental research and mathematical processing are conducted with the participation of students of the MAI aerospace Institute. In the future, it is planned to conduct a ground-based model experiment on the basis of the SSC RF IMBP RAS in the framework of the international program "Sirius".

Эффекты нелинейной электродинамики вакуума для измерения с помощью поляриметров космического базирования

Денисова И.П., Демьяненко А.Е., Пашин Т.П., Рыбаков В.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В космических аппаратах научного назначения помимо системы служебной аппаратуры имеется и система научной аппаратуры, состав которой зависит от решаемых задач. Для исследования нелинейно-электродинамических эффектов в сильных полях пульсаров и магнетаров в настоящее время началась разработка системы из трех типов поляриметров космического базирования: «GAMMASKOP», разрабатываемый в НИИЯФ МГУ [1], проект IXPE, разрабатываемый НАСА [2], и проект XIPE, разрабатываемый европейской коллаборацией [3]. Вывод этих поляриметров на высокоэллиптические орбиты позволит существенно расширить возможности для наблюдения различных физических эффектов.

Внеатмосферные наблюдения жесткого излучения пульсаров и магнетаров проводятся давно. За это время было открыто более трехсот пульсаров и несколько магнетаров, излучающих в рентгеновском и гамма диапазонах, исследован спектральный состав этого излучения, измерены их интенсивности, обнаружены транзитные и затменные двойные пульсарные системы.

Единственное, что не исследовалось до настоящего времени – это поляризация жесткого излучения, приходящего от пульсаров и магнетаров. Однако существуют физические процессы, которые можно изучать, только если измерять поляризацию излучения, принимаемого от пульсаров и магнетаров. Одним из таких процессов является нелинейно – электродинамическое воздействие сильного магнитного поля пульсара или магнетара на поляризацию импульсов жесткого излучения. Результаты таких измерений имеют чрезвычайно большое значение для электродинамики в недостижимой пока в лабораторных условиях области сильных электромагнитных полей.

Расчеты показали, что электромагнитные импульсы от пульсаров и магнетаров должны приходиться к космическому аппарату с находящимся на его борту поляриметром, имея необычную поляризацию по длине этих импульсов. Передняя и задняя части лобового импульса жесткого излучения должны быть линейно поляризованными во взаимно перпендикулярных плоскостях, а у оставшейся части импульса должна быть эллиптическая поляризация. Для проверки этого предсказания теории и предназначена разрабатываемая система поляриметров космического базирования.

Литература:

1. Denisov V. I., Sokolov V. A., Svertilov S. I., 2017, JCAP, 09, 004.
2. Weisskopf M.C., 2016, Proc. SPIE, 9905, 99057.
3. Soffitta P., 2013, Exper. Astron., 36, 523.

Effects of nonlinear electrodynamics of vacuum for measurement with the aid of polarimeters space-based

Denisova I.P., Demianenko A.E., Pashin T.P., Rybakov V.A.
MAI, Moscow, Russia

In scientific spacecraft, in addition to the service equipment system, there is also a system of scientific equipment, the composition of which depends on the tasks to be solved. To study nonlinear electrodynamic effects in strong fields of pulsars and magnetars, a system of three types of space-based polarimeters is currently being developed: GAMMASKOP, which is being developed at the Moscow state University [1], IXPE, which is being developed by NASA [2], and XIPE, which is being developed by the European collaboration [3]. Placing these polarimeters in highly elliptical orbits will significantly expand the possibilities for observing various physical effects.

Extraatmospheric observations of hard radiation from pulsars and magnetars have been carried out for a long time. During this time, more than three hundred pulsars and several magnetars radiating in the x-ray and gamma ranges were discovered, the spectral composition of this radiation

was studied, their intensities were measured, and transient and eclipsing binary pulsar systems were discovered.

The only thing that has not been studied so far is the polarization of hard radiation coming from pulsars and magnetars. However, there are physical processes that can only be studied by measuring the polarization of radiation received from pulsars and magnetars. One of these processes is the nonlinear – electrodynamic effect of a strong magnetic field of a pulsar or Magnetar on the polarization of hard radiation pulses. The results of such measurements are extremely important for electrodynamics in the region of strong electromagnetic fields that is still unattainable in laboratory conditions.

Calculations have shown that electromagnetic pulses from pulsars and magnetars should come to the spacecraft with a polarimeter on Board, having an unusual polarization along the length of these pulses. The front and back parts of any hard radiation pulse must be linearly polarized in mutually perpendicular planes, and the remaining part of the pulse must have elliptical polarization. The system of space-based polarimeters under development is designed to test this prediction of the theory.

References:

1. Denisov V. I., Sokolov V. A., Svertilov S. I., 2017, JCAP, 09, 004.
2. Weisskopf M. C., 2016, Proc. SPIE, 9905, 99057.
3. Soffitta P., 2013, Exper. Astron., 36, 523.

Схема реактивного пенетратора для движения в лунном грунте и расчет его основных проектных параметров

Заговорчев В.А., Родченко В.В., Пронина П.Ф., Садретдинова Э.Р.
МАИ, г. Москва, Россия

Одной из актуальных задач при освоении Луны и планет Солнечной системы является доставка приборов, оборудования и иной полезной нагрузки на некоторую глубину в грунтовое полупространство. В некоторых случаях поставленная задача может быть решена с помощью реактивного пенетратора, снабженного ракетным двигателем твердого топлива (РДТТ).

Конструктивно реактивный пенетратор состоит из следующих основных элементов: головная часть, цилиндрическая обечайка, переднее днище и сопловой блок. Большое значение на массу конструкции оказывает давление в камере сгорания.

Для определения основных параметров пенетратора необходимо определиться с моделью грунта в котором он движется. Целесообразно в качестве модели лунного грунта выбрать лессовидный суглинок. Максимальная дальность реактивного пенетратора имеет место в том случае, когда удельная лобовая тяга РДТТ в два раза больше полного удельного сопротивления. Начиная со значений удельной лобовой тяги в 7,0 МПа, прирост дальности хода незначителен ~5%, хотя при этом необходимая тяга РДТТ возрастает на 70-80%, что заставляет применять крайне напряженные параметра рабочего процесса РДТТ для получения столь высоких значений лобовой тяги.

К основным требованиям, предъявляемых к топливу при выборе заряда пенетратора, относятся высокое значение единичного импульса, плотности и скорости горения топлива. С учетом этих требований, а также малого времени работы, были выбраны 3 типа топлива. Анализ показывает заметное влияние единичного импульса на массу топлива. Влияние давления в камере на единичный импульс не сильное и не является основным при выборе давления в камере. Наиболее резко на величину поверхности горения влияет скорость горения.

Предложенный аналитический расчет позволяет на начальном этапе оценить массогабаритные характеристики двигателя и соответственно пенетратора. Все три рассматриваемых вида твердого топлива обеспечивают создание удельной лобовой тяги РДТТ необходимой для движения пенетратора в реголите, но накладывают свои конструктивные ограничения. Так баллистичное топливо хоть и является доступным, но требует учета при проектировании камеры сгорания вопросов размещения и зарядания

большим количеством шашек. Предложенную принципиальную схему пенетратора возможно адаптировать под требуемое топливо и необходимую научную задачу.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (шифр FSFF-2020-0016).

Design of a jet penetrator for movement in lunar soil and calculation of its main design parameters

Zagovorchev V.A., Rodchenko V.V., Pronina P.F., Sadretdinova E.R.
MAI, Moscow, Russia

Одной из актуальных задач при освоении Луны и планет Солнечной системы является доставка приборов, оборудования и иной полезной нагрузки на некоторую глубину в грунтовое полупространство. В некоторых случаях поставленная задача может быть решена с помощью реактивного пенетратора, снабженного ракетным двигателем твердого топлива (РДТТ).

Конструктивно реактивный пенетратор состоит из следующих основных элементов: головная часть, цилиндрическая обечайка, переднее днище и сопловой блок. Большое значение на массу конструкции оказывает давление в камере сгорания.

Для определения основных параметров пенетратора необходимо определиться с моделью грунта в котором он движется. Целесообразно в качестве модели лунного грунта выбрать лессовидный суглинок. Максимальная дальность реактивного пенетратора имеет место в том случае, когда удельная лобовая тяга РДТТ в два раза больше полного удельного сопротивления. Начиная со значений удельной лобовой тяги в 7,0 МПа, прирост дальности хода незначителен ~5%, хотя при этом необходимая тяга РДТТ возрастает на 70-80%, что заставляет применять крайне напряженные параметра рабочего процесса РДТТ для получения столь высоких значений лобовой тяги.

К основным требованиям, предъявляемых к топливу при выборе заряда пенетратора, относятся высокое значение единичного импульса, плотности и скорости горения топлива. С учетом этих требований, а также малого времени работы, были выбраны 3 типа топлива. Анализ показывает заметное влияние единичного импульса на массу топлива. Влияние давления в камере на единичный импульс не сильное и не является основным при выборе давления в камере. Наиболее резко на величину поверхности горения влияет скорость горения.

Предложенный аналитический расчет позволяет на начальном этапе оценить массогабаритные характеристики двигателя и соответственно пенетратора. Все три рассматриваемых вида твердого топлива обеспечивают создание удельной лобовой тяги РДТТ необходимой для движения пенетратора в реголите, но накладывают свои конструктивные ограничения. Так баллиститное топливо хоть и является доступным, но требует учета при проектировании камеры сгорания вопросов размещения и заряжания большим количеством шашек. Предложенную принципиальную схему пенетратора возможно адаптировать под требуемое топливо и необходимую научную задачу.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (шифр FSFF-2020-0016).

Анализ прочностных и термодинамических характеристик конструкций из энергетических материалов

Иордан Ю.В., Жариков К.И.
ОмГТУ, г. Омск, Россия

Известно, что падение отделяемых частей ракет-носителей, таких как головные обтекатели, межбаковые и хвостовые отсеки, приводит к необходимости выделения и последующему содержанию значительных территорий под районы падения отделяемых частей. Данная проблема является источником экологических проблем, так как отработавшие части тонут в труднопроходимых болотистых местностях или в акваториях Мирового океана; экономических проблем, в виду затрат на поиск, вывоз и утилизацию таких частей, а также причиной социальной напряженности в поселениях, расположенных

вблизи районов падения. Предлагаемая концепция сжигания отделившихся фрагментов от ракет-носителей на этапе баллистического спуска направлена на уменьшение размеров площадей, выделенных под районы падения. Суть данной концепции состоит в обеспечении протекания реакции самоподдерживающегося горения элементов конструкции, на примере створок головного обтекателя, после отделения от ракеты-носителя. Тем самым актуальной научной задачей является применение энергетического материала, обеспечивающего разрушение конструкции за счет теплового воздействия при движении в плотных слоях атмосферы.

Современные головные обтекатели представляют собой трехслойную конструкцию, внешние слои которой состоят из прочного и теплостойкого композиционного полимерного материала, а наполнитель представлен в виде сотовой конструкции из алюминиевой фольги. Согласно проведенным ранее исследованиям, сжигание данной конструкции затруднительно, по причинам необходимости размещения значительного количества энергетического материала; высокой температуры плавления (более 950 К для алюминия); повышенного массового содержания твердой фазы в продуктах сгорания (более 90%). В данном исследовании представлен анализ возможных энергетических материалов (на примере смесевых твердых ракетных топлив) и их термодинамических параметров, а также приведена оценка прочностных характеристик возможных вариантов конструкций, изготовленных из данных материалов. Применение в совокупности энергетических материалов и предлагаемой конструкции наполнителя показало возможность для последующей разработки метода проектирования сжигаемого демонстратора (элемента головного обтекателя).

Analysis of the strength and thermodynamic characteristics of structures made of energetic materials

Jordan Y.V., Zharikov K.I.
OmSTU, Omsk, Russia

It is known that the fall of separating parts of launch vehicles, such as head fairing, inter-tank and tail compartments, leads to the need for the separation and subsequent maintenance of significant territories under the areas of fall of separating parts. This problem is a source of environmental problems, since the spent parts are drowning in rugged wetlands or in the waters of the World Ocean; economic problems, in view of the costs of finding, removing and disposing of such parts, as well as the cause of social tension in settlements located near the areas of fall. The proposed concept of incineration of separated parts from launch vehicles at the stage of ballistic descent is aimed at reducing the size of the areas allocated for the impact areas. The essence of this concept is to ensure the flow of the reaction of self-sustaining combustion of structural elements, for example, the head fairing, after separation from the launch vehicle. Thus, an urgent scientific task is the use of an energetic material that ensures the destruction of a structure due to thermal effects when moving in dense layers of the atmosphere.

Modern head fairings are a three-layer structure, the outer layers of which are composed of a durable and heat-resistant composite polymer material, and the filler is presented in the form of a honeycomb structure made of aluminum foil. According to previous studies, the combustion of this structure is difficult, due to the need to place a significant amount of energetic material; high melting point (more than 950 K for aluminum); increased mass content of solid phase in combustion products (more than 90%). This study presents an analysis of possible energetic materials (using the example of composite solid rocket propellants) and their thermodynamic parameters, as well as an assessment of the strength characteristics of possible options for structures made of these materials. The combined use of energetic materials and the proposed construction of the filler showed the possibility for the subsequent development of a method for designing a combustible demonstrator (element of the head fairing).

Исследование влияния тонкой структуры потока разреженной плазмы в теневой области спутника на зондовые измерения

Котельников В.А., Котельников М.В., Платонов М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Методами компьютерного моделирования исследовались параметры пристеночной плазмы в области следа за цилиндрическим спутником, а также особенности проводимых там зондовых измерений. Математическая модель задачи – уравнения Власова для ионов и электронов, уравнение Пуассона для самосогласованного электрического поля, а также система начальных и граничных условий [1,2].

В процессе исследования обнаружена тонкая структура потока плазмы для ионов в следе. Там имеет место наложение двух потоков ионов, на которые разделяет набегающий поток цилиндрический спутник. Он расположен поперек набегающего потока разреженной плазмы. Каждому потоку соответствует свой купол функции распределения ионов.

Для произвольной точки следа решена зондовая задача. Обнаружено, что два потока ионов, набегающие на помещенный в след спутника отрицательно заряженный зонд, создают зондовый ток, существенно больший, чем ток от усредненного потока ионов плазмы без учета его тонкой структуры.

Литература:

1. М.В. Котельников, В.Ю. Гидаспов, В.А. Котельников. Математическое моделирование обтекания тел потоками бесстолкновительной и столкновительной плазмы. М.: Физматлит, 2010, 288 с.

2. М.В. Котельников, В.А. Котельников, С.Б. Ульданов. Процессы переноса в пристеночных слоях плазмы. М.: Наука, 2004, 475 с.

Investigation of the thin structure of the rarefied plasma flow in the shadow region of the satellite by probe measurements

Kotelnikov V.A., Kotelnikov M.V., Platonov M.A.

MAI, Moscow, Russia

Computer simulation methods were used to study the parameters of the wall plasma in the Wake region of a cylindrical satellite, as well as the features of probe measurements carried out there. The mathematical model of the problem is the Vlasov equations for ions and electrons, the Poisson equation for a self – consistent electric field, and the system of initial and boundary conditions [1,2].

The study revealed a fine structure of the plasma flow for the ions in the trace. There is an overlap of two ion streams, which are divided by the incoming stream of a cylindrical satellite. It is located across the incoming flow of rarefied plasma. Each flow has its own dome of the ion distribution function.

The probe problem is solved for an arbitrary trace point. It was found that two ion fluxes incident on a negatively charged probe placed in the satellite's Wake create a probe current significantly greater than the current from the average plasma ion flux, without taking into account its fine structure.

References:

1. M.V. Kotelnikov, V. Yu. Gidasпов, V. A. Kotelnikov. Mathematical modeling of flow around bodies by collisionless and collisional plasma flows. Moscow: Fizmatlit, 2010, 288 p.

2. M.V. Kotelnikov, V. A. Kotelnikov, S. B. Uldanov. Transport processes in wall plasma layers, Moscow: Nauka, 2004, 475 p.

Организация параллельного счета при компьютерном моделировании обтекания сферического спутника

Котельников М.В., Котельников В.А., Платонов М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Методами компьютерного моделирования исследовались параметры пристеночной области вблизи сферического спутника, движущегося в ионосферной плазме. Математическая модель задачи – уравнения Власова для ионов и электронов, уравнение

Пуассона для самосогласованного электрического поля, а также система начальных и граничных условий [1,2].

В процессе исследования возникли вычислительные трудности, связанные с многомерностью задачи (задача пятимерна в фазовом пространстве) и соответственной громоздкостью расчетов. С целью ускорения расчетов была реализована идея авторов по распараллеливанию блока решения уравнений Власова для разреженной плазмы. Алгоритм был усовершенствован таким образом, что решения уравнения Власова для ионов и уравнения Власова для электронов происходили параллельно и независимо.

Для реализации данной идеи в среде программирования Visual Studio 2019 был сформирован программный код. При этом использовался язык программирования C++ и средства библиотеки OpenMP для организации распараллеливания алгоритма.

Тестовые запуски программы показали, что время счета до установления решения уменьшилось примерно на 40%, что позволит более эффективно проводить вычислительный эксперимент.

Литература:

1. М.В. Котельников, В.Ю. Гидаспов, В.А. Котельников. Математическое моделирование обтекания тел потоками бесстолкновительной и столкновительной плазмы. М.: Физматлит, 2010, 288 с.

2. М.В. Котельников, В.А. Котельников, С.Б. Ульданов. Процессы переноса в пристеночных слоях плазмы. М.: Наука, 2004, 475 с.

Organization of parallel counting for computer simulation of the flow around a spherical satellite

Kotelnikov M.V., Kotelnikov V.A., Platonov M.A.
MAI, Moscow, Russia

The parameters of the wall region near a spherical satellite moving in ionospheric plasma were studied using computer simulation methods. The mathematical model of the problem is the Vlasov equations for ions and electrons, the Poisson equation for a self-consistent electric field, and the system of initial and boundary conditions [1,2].

During the research, computational difficulties arose due to the multidimensional nature of the problem (the problem is five-dimensional in phase space) and the corresponding cumbersome calculations. In order to speed up the calculations, the authors implemented the idea of parallelizing the block for solving Vlasov equations for rarefied plasma. The algorithm was improved so that solutions of the Vlasov equation for ions and the Vlasov equation for electrons occurred in parallel and independently.

To implement this idea, a program code was generated in the Visual Studio 2019 programming environment. At the same time, the C++ programming language and the OpenMP library tools were used to organize parallelization of the algorithm.

Test runs of the program showed that the calculation time before the solution was established was reduced by about 40%, which will allow for a more efficient computational experiment.

References:

1. M.V. Kotelnikov, V.Yu. Gidasov, V.A. Kotelnikov. Mathematical modeling of flow around bodies by collisionless and collisional plasma flows. Moscow: Fizmatlit, 2010, 288 p.

2. M.V. Kotelnikov, V.A. Kotelnikov, S.B. Uldanov. Transport processes in wall plasma layers, Moscow: Nauka, 2004, 475 p.

Массивно параллельное решение задачи Ламберта с использованием GPU

Кравченко В.С., Иванюхин А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Главной целью работы является анализ подходов к решению задачи Ламберта и их массивно-параллельная реализация на графическом процессоре. А также, анализу возможной степени распараллеливания различных методов.

Задача Ламбрета считается классической двухточечной краевой задачи в небесной механике. Её можно сформулировать следующим образом: найти кеплеровскую орбиту,

проходящую через две точки пространства с радиус-векторами r_1 и r_2 в моменты времени t_0 и t_1 , соответственно, для заданного числа полных витков.

Подходов к решению задачи достаточно много, условно их можно разделить по неизвестной переменной и форме записи уравнения Ламберта на 5 групп: 1) с уравнением Ламберта в универсальной форме 2) с итерациями по фокальному параметру 3) с итерациями по большой полуоси 4) с итерациями по эксцентриситету 5) с уравнением Ламберта в KS переменных. Прочие отличия связаны в первую очередь с методом решения нелинейного уравнения Ламберта и выбором начальных приближений для этого решения.

В данной работе будут рассмотрены все группы и выделены основные плюсы и минусы позволяющие выполнить эффективную реализацию на графическом процессоре (GPU) с помощью технологии CUDA. Технология CUDA является инструментом позволяющим задействовать напрямую ресурсы GPU для исполнения вычислений. CUDA это программно-аппаратная структура параллельных вычислений.

Будут приведены примеры программ, выполняющих вычисления на графическом процессоре, реализующие некоторые из рассмотренных методов. Для них на ряде тестовых задач оценена скорость выполнения параллельных программ и эффективность их распараллеливания.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации, выделяемого из федерального бюджета для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях и государственных научных центрах Российской Федерации (VII очередь, постановление Правительства РФ №220 от 09.04.2010). Соглашение №075-15-2019-1894 от 03.12.2019

Massively parallel computation of the Lambert problem using GPUs

Kravchenko V.S., Ivanyukhin A.V.

MAI, Moscow, Russia

The main goal of the work is to analyze approaches to solving the Lambert problem and their massively parallel implementation on a graphics processor. And also, the analysis of the possible degree of parallelization of various methods.

The Lambert problem is considered a classic two-point boundary value problem in celestial mechanics. It can be formulated as follows: find a Keplerian orbit passing through two points in space with radius vectors r_1 and r_2 at times t_0 and t_1 , respectively, for a given number of full turns.

There are a lot of approaches to solving the problem, conditionally they can be divided according to the unknown variable and the form of writing the Lambert equation into 5 groups: 1) with the Lambert equation in a universal form 2) with iterations along the focal parameter 3) with iterations along the semi-major axis 4) with iterations along eccentricity 5) with the Lambert equation in KS variables. Other differences are associated primarily with the method for solving the nonlinear Lambert equation and the choice of initial approximations for this solution.

In this paper, all groups will be considered and the main pros and cons that allow an efficient implementation on a graphics processing unit (GPU) using CUDA technology are highlighted. CUDA technology is a tool that allows you to directly use GPU resources to execute computations. CUDA is a software-hardware framework for parallel computing.

Examples of programs that perform calculations on a GPU that implement some of the considered methods will be given. For them, on a number of test problems, the execution speed of parallel programs and the efficiency of their parallelization were estimated.

This study was supported by the grant of the Government of the Russian Federation allocated from the federal budget for state support of scientific research conducted under the guidance of leading scientists in Russian educational institutions of higher education, research institutions and state research centers of the Russian Federation (Contest 7, Resolution No.220 of the Government of the Russian Federation of April 9, 2010). Agreement No. 075-15-2019-1894 of December 3, 2019.

Анализ интерфейсов интегрированных систем жизнеобеспечения для экипажей космических аппаратов

Курмазенко Э.А., Прошкин В.Ю., Щеглова Е.В.
НИИХиммаш, г. Москва, Россия

Архитектура интегрированной системы жизнеобеспечения экипажа космического аппарата, представляет собой совокупность взаимодействующих подсистем, предназначенных для выполнения функций, обеспечивающих (с заданной степенью надежности) жизнь и работоспособность экипажа в условиях космического полета.

Каждая система и функциональный блок в составе системы связаны технологическими и информационными потоками, образующими связи рассматриваемой системы с внешней средой (внешние интерфейсы системы) и связи между функциональными блоками системы (внутренние интерфейсы системы). Внутренние интерфейсы содержат информацию о свойствах системы [1].

Рассматривается формирование интерфейсов для анализа функционирования перспективных систем жизнеобеспечения. Анализ проводится как для системы жизнеобеспечения в целом, так и для отдельных подсистем и функциональных блоков в ее составе.

Анализируется интегрированная система жизнеобеспечения, которая включает в себя систему обеспечения газового состава, систему водообеспечения и систему контроля параметров окружающей среды, каждая из которых также состоит из ряда подсистем. Более подробно рассмотрена система обеспечения газового состава, состоящая из семи функциональных блоков: обеспечение кислородом, удаление углекислого газа, очистка от микропримесей, кондиционирование воздуха (поддержание температуры и влажности), поддержание атмосферного давления, удаление пыли и твердых загрязняющих веществ, удаление биологических загрязнений (обеззараживание). Дается оценка влияния внутренних и внешних интерфейсов системы обеспечения газового состава на ее функционирование.

Показано, что анализ интерфейсов, проведенный для интегрированной системы жизнеобеспечения, позволяет получить значительно больший объем информации, необходимый при разработке (и модернизации) системы и при создании методик ее эксплуатации на борту космических аппаратов.

Литература:

1. Parry J.L., Sargusingh M.J., Toomarians N. Functional Interface Consideration within an Exploration Life Support System Architecture // 46th International Conference on Environmental Systems, Vienna, Austria, 10-14 July 2016, ICES-2016-90, pp. 11.

Interface analysis for integrated life support systems of a manned spacecraft

Курмазенко Е.А., Прошкин В.Ю., Щеглова Е.В.
НИИХиммаш, Moscow, Russia

Integrated life support system architecture for manned spacecraft consists of several cooperating subsystems, which provide (with predetermined degree of reliability) comfort life conditions and the optimal work efficiency of the crew during space mission.

Every system and every functional element in said systems connected with help of technological and informational flows, which generate connections between systems and external environment (external system interface — ESI) and connections between functional elements of systems (internal system interface — ISI). ISI contains system settings and properties. [1]

Interfaces formation in application for perspective life support systems analysis is considered. Analysis has to be conducted for both life-support system overall and it's elements including.

Conducted analysis for integrated life support system, which includes atmosphere revitalization, water recovery and management, and environmental monitoring, each of which consist of corresponding list of functional elements. Air revitalization system consists of following: oxygen generator, carbon dioxide removal assembly, trace contaminate removal system, air conditioning system (maintenance of predetermined temperature and humidity levels), constant pressure

maintenance unit, dust and other solid contamination removal assembly, disinfection system. Paper provides evaluation of ESI and ISI effects on the air revitalization system overall performance.

It is shown, that interface analysis conducted in time, provides means for acquiring significant amounts of data, which is necessary during the design/redesign phases of life support system creation cycle and for writing user manuals for on-board crews.

References:

1. Parry J.L., Sargusingh M.J., Toomarians N. Functional Interface Consideration within an Exploration Life Support System Architecture // 46th International Conference on Environmental Systems, Vienna, Austria, 10-14 July 2016, ICES-2016-90, pp. 11.

Способы повышения подвижности и проходимости наземных технологических комплексов ракетной техники на базе автопоездов с активными прицепными звеньями

Мазлумян Г.С., Сова А.Н.

МАДИ, г. Москва, Россия

Опыт создания и эксплуатации подвижных наземных технологических комплексов ракетной техники показывает, что их подвижность и проходимость могут быть существенно ограничены.

Большегрузные транспортные средства применяются в Вооруженных силах для транспортирования тяжелых неделимых грузов: ракетного вооружения и другого специального оборудования, – и предназначены для обеспечения их подвижности при движении по всем видам дорог и особенности в любое время года и суток. Тенденция повышения требований к показателям подвижности, а в конечном счете – эффективности применения большегрузных транспортных средств обуславливает необходимость постоянного их совершенствования, в том числе за счет внедрения в их конструкцию новых технических решений в части создания комбинированных электромеханических трансмиссий.

Научные исследования направлены на повышение подвижности и проходимости агрегатов наземных технологических комплексов ракетной техники с применением активных прицепных звеньев с комбинированными электромеханическими трансмиссиями на базе вентиляльно-индукторных приводов.

Специальное транспортное средство, представляющее собой двухзвенный седельный автопоезд, состоящий из четырехосного седельного тягача, оборудованного гидромеханической трансмиссией, и четырехосного активного полуприцепа с управляемыми мотор-колесами, оборудованного электромеханической трансмиссией на базе вентиляльно-индукторных электроприводов. Все колеса двухзвенного седельного автопоезда поворотные.

Проведенные расчеты параметров и характеристик автономного вентиляльно-индукторного электропривода позволили определить тяговые и тормозные свойства специального транспортного средства при оснащении его новым современным видом электропривода.

Полученные зависимости предельных уклонов, преодолеваемых транспортным средством, от скорости движения в тяговом и тормозном режимах дают конкретное представление о широких возможностях его использования в различных условиях эксплуатации.

Благодаря более высоким КПД электрических машин с ВИП полученные тягово-динамические параметры и характеристики транспортного средства выше соответствующих показателей существующей электромеханической трансмиссии постоянного тока.

Methods for increasing the mobility and cross-country ability of ground technological complexes of rocket technology based on road trains with active trailed links

Mazlumyan G.S., Sova A.N.

MADI, Moscow, Russia

The experience of creating and operating mobile ground-based technological complexes of rocket technology shows that their mobility and maneuverability can be significantly limited.

Heavy vehicles are used in the Armed Forces for the transportation of heavy indivisible cargo: missile weapons and other special equipment, and are designed to ensure their mobility when moving on all types of roads and especially at any time of the year or day. The trend of increasing

requirements for mobility indicators, and ultimately – the efficiency of the use of heavy vehicles necessitates their constant improvement, including through the introduction of new technical solutions into their design in terms of creating combined electromechanical transmissions.

Scientific research is aimed at increasing the mobility and patency of units of ground technological complexes of rocket technology using active trailed links with combined electromechanical transmissions based on valve-inductor drives.

A special vehicle, which is a two-link semitrailer train, consisting of a four-axle semitrailer tractor equipped with a hydromechanical transmission and a four-axle active semitrailer with steerable motor wheels equipped with an electromechanical transmission based on valve-inductor electric drives. All wheels of a two-link semitrailer road train are swivel.

The calculations of the parameters and characteristics of an autonomous valve-inductor electric drive made it possible to determine the traction and braking properties of a special vehicle when equipped with a new modern type of electric drive.

The obtained dependences of the maximum slopes overcome by a vehicle on the speed of movement in traction and braking modes give a concrete idea of the wide possibilities of its use in various operating conditions.

Due to the higher efficiency of electric machines with VIP, the obtained traction and dynamic parameters and characteristics of the vehicle are higher than the corresponding indicators of the existing DC electromechanical transmission.

О возможности использования теплоаккумулирующих систем на крупногабаритных надувных космических конструкциях

¹Моржухина А.В., ¹Нетелев А.В., ¹Рамазанова Д.Р., ²Моржухин А.М.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²Государственный университет «Дубна», г. Дубна, Россия

Тенденция развития современной космонавтики подразумевает создание долговременных обитаемых станций на орбите Земли и на поверхности Луны. Одним из перспективных направлений создания таких крупных объектов является использование в качестве их основы гибких надувных оболочек. В настоящее время имеется ряд успешных примеров применения надувных оболочек в качестве элементов конструкции аппаратов [1]. Для обеспечения удобства эксплуатации и надежности таких надувных элементов важно правильно рассчитать их температурный режим на протяжении всех этапов эксплуатации. Вследствие большой площади поверхности и сложной геометрии надувных оболочек целесообразно в качестве основных систем обеспечения тепловых режимов использовать теплоаккумулирующие системы.

Вследствие больших геометрических размеров надувных оболочек тепловое состояние может так же влиять на их ориентацию в пространстве и герметичность отдельных отсеков.

С этой целью для таких конструкций планируется разработать специальную теплоаккумулирующую систему обеспечения теплового режима на основе теплоносителей с фазовым переходом «кристалл-жидкость».

Для обоснованного выбора конструкции системы обеспечения тепловых режимов гибких надувных оболочек необходима точная информация о теплофизических характеристиках теплоаккумулирующего материала. Для ее получения планируется воспользоваться методами синхронного термического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии.

Полученные характеристики теплоносителя позволят провести моделирование и выбор конструкции системы обеспечения теплового режима. Для моделирования тепловых процессов планируется воспользоваться программным комплексом, созданным на базе кафедры 601 МАИ и позволяющего оценить тепловые нагрузки и тепловое состояние космического объекта на протяжении одного цикла функционирования [2].

Работа, выполненная в Московском авиационном институте, поддержана грантом Минобрнауки России № 075-15-2020-770.

Работа, выполненная в Университете "Дубна", поддержана грантом Губернатора М.О. (контракт №33 от 24.07.2020).

Литература:

1. Алифанов О.М., Будник С.А., Нетелев А.В. Патент на изобретение № 2528506 РФ «Развертываемое тормозное устройство для спуска в атмосфере планет», 23.07.2014.

2. Алифанов О.М., Будник С.А., Михайлов В.В., Ненарокомов А.В. Экспериментально-вычислительный комплекс для исследования теплофизических свойств теплотехнических материалов. Теплобые процессы в технике. 2009. Т.1, № 2. С.49-60.

On the possibility of using heat storage systems on large-size inflatable space structures

¹Morzhukhina A.V., ¹Netelev A.V., ¹Ramazanova D.R., ²Morzhukhin A.M.

¹MAI, Moscow, Russia

²Dubna State University, Dubna, Russia

The modern cosmonautics implies the creation of long-term manned stations in the Earth's orbit and on the Lunar surface. One of the promising directions for the creation of such large objects is the use of flexible inflatable shells. Currently, there are a number of successful examples of the use of inflatable shells as structural elements of vehicles [1]. To ensure the ease of use and reliability of such inflatable elements, it is important to correctly calculate their temperature regime. Due to the large surface area and complex geometry, it is advisable to use heat storage systems as the main systems for ensuring thermal conditions.

Due to the large geometrical dimensions of the inflatable shells, the thermal state can also affect their orientation in space and the tightness of individual compartments.

For this purpose, it is planned to develop a special heat storage system for providing a thermal regime based on coolants with a "crystal-liquid" phase transition for such structures.

For a reasonable choice of the design of the system for ensuring the thermal modes of flexible inflatable shells, accurate information about the thermophysical characteristics of the heat storage material is required. To obtain it, it is planned to use the methods of synchronous thermal analysis and differential scanning calorimetry.

The obtained characteristics of the coolant will allow modeling and selection of the design of the system for ensuring the thermal regime. To simulate thermal processes in the system for providing thermal regimes, it is planned to use a software package created on the basis of the Department 601 of the Moscow Aviation Institute and allowing to assess the thermal loads and thermal state of a space object during one operation cycle [2].

The work carried out at the Moscow Aviation Institute was supported by a grant from the Ministry of Education and Science of Russia No. 075-15-2020-770.

The work carried out at the Dubna University was supported by a grant from the Governor of the Moscow Region (№33 dated July 24, 2020).

References:

1. Alifanov O.M., Budnik S.A., Netelev A.V. Patent for invention No. 2528506 RF "Deployable braking device for descent into the atmosphere of planets", 23.07.2014.

2. Alifanov O.M., Budnik S.A., Mikhailov V.V., Nenarokomov A.V. Experimental-computing complex for the study of thermophysical properties of heat engineering materials. Thermal processes in engineering. 2009. V. 1, № 2. p.49-60.

Расчет теплового нагружения разрушающегося полимерного теплозащитного материала с учетом неравновесной кинетики деструкции

Нетелев А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Разрушающиеся полимерные материалы широко применяются в качестве элементов теплозащитных пакетов в современной ракетно-космической технике, в частности спускаемых аппаратов, предназначенных для входа в атмосферу планет. В процессе эксплуатации таких аппаратов остро встает вопрос определения теплового нагружения внешнего слоя тепловой защиты. Прямое измерение теплового потока на поверхности

теплозащитного материала в этом случае не представляется возможным в связи с высокими значениями температур и процессом деструкции в материале. Для решения этой проблемы могут использоваться интегрируемые в конструкцию тепловой защиты датчики, в которых измерительные элементы – термодпары, заглублены в объеме материала. Сами датчики, при этом выполняются из материала идентичного материалу внешнего теплозащитного слоя. При выборе глубины установки измерительного элемента в датчик важно, чтобы в процессе деструкции материала датчика измерительный элемент не попал в зону деструкции, т.к. это может повлиять на точность измеряемых данных и привести к шунтированию термодпары.

Представленная работа посвящена разработке алгоритма обработки данных датчиков тепловых потоков, устанавливаемых во внешний разрушающийся слой теплозащитного пакета спускаемого аппарата. Исходная математическая модель теплопереноса в таком материале содержит уравнение неравновесной термохимической кинетики деструкции. Массовая скорость деструкции вычислялась как функция температуры и темпа нагрева. В основе разработанного алгоритма лежит решение обратной задачи теплопереноса методом итерационной регуляризации. Апробации разработанного алгоритма осуществлялась по данным эксперимента, проведенного в «Тепловой лаборатории» кафедры 601 МАИ на экспериментальном стенде ТВС-2М.

Работа, выполненная в Московском авиационном институте (МАИ), финансово поддержана грантом Минобрнауки России № 075-15-2020-770.

Calculation of heat load of ablative polymer protective material taking into account the nonequilibrium kinetics of destruction

Netelev A.V.

MAI, Moscow, Russia

Ablative polymeric materials are widely used as elements of heat-shielding packages in modern rocket and space technology, in particular, descent vehicles designed to enter the atmosphere of planets. During the operation of such devices, the question of determining the thermal loading of the outer layer of thermal protection is acute. Direct measurement of the heat flux on the surface of the heat-shielding material in this case is not possible due to the high temperatures and the degradation process in the material. To solve this problem, sensors integrated in the thermal protection can be used, in which the measuring elements - thermocouples, are buried in the bulk of the material. The sensors themselves, in this case, are made of a material identical to the material of the external heat-protective layer. When choosing the installation depth of the measuring element in the sensor, it is important that during the destruction of the sensor material the measuring element does not fall into the destruction zone, because this may affect the accuracy of the measured data and lead to thermocouple bypass. The presented article is devoted to the development of an algorithm for processing data from heat flow sensors installed in an external collapsing layer of a heat-protective package of a descent vehicle. The initial mathematical model of heat transfer in such a material contains the equation of nonequilibrium thermochemical kinetics of destruction. The mass destruction rate was calculated as a function of temperature and heating rate. The developed algorithm is based on solving the inverse heat transfer problem by the iterative regularization method. Testing of the developed algorithm was carried out according to an experiment carried out in the “Thermal Laboratory” of the MAI department 601 at the experimental stand TVS-2M.

The work carried out at the Moscow Aviation Institute (MAI) was financially supported by a grant from the Ministry of Education and Science of Russia No. 075-15-2020-770.

Применение энергосберегающих технологий для обоснования и выбора элементов систем обеспечения твр стационарных кп для расширения их функциональных возможностей и улучшения технических и эксплуатационных характеристик

Новиков А.Д.

МАДИ, г. Москва, Россия

Решение многочисленных задач обороны государства неотрывно связано с системой обеспечения температурно-влажностного режима (СО ТВР) пункта управления.

Не смотря на многообразие методик оценки технических и эксплуатационных характеристик СО ТВР пункта управления с учетом применения энергосберегающих элементов и режимов работы, проблема улучшения технических и эксплуатационных характеристик СО ТВР до сих пор полностью не решена, из-за множества факторов.

С целью повышения технических и эксплуатационных характеристик СО ТВР пункта управления была разработана методика для оценки технических и эксплуатационных характеристик СО ТВР пункта управления с учетом применения энергосберегающих элементов на базе управляемых вентильно-индукторных приводов.

Разработанная методика, позволяет решать такие основные задачи как тепловой и аэродинамический расчет нагрузки на СО ТВР пункта управления с применением энергосберегающих элементов на базе управляемых вентильно-индукторных приводов.

В методике обоснованы назначение, состав и структура исходных данных, разработан алгоритм методики оценки технических и эксплуатационных характеристик СО ТВР пункта управления с учетом применения энергосберегающих элементов на базе управляемых вентильно-индукторных приводов, приведен пример использования методики оценки, технических и эксплуатационных характеристик СО ТВР пункта управления с учетом применения энергосберегающих элементов на базе управляемых вентильно-индукторных приводов, указаны области применения разработанной методики и направления её дальнейшего совершенствования.

Результаты апробации методики на примере существующих энергосберегающих элементов выявили повышение технических и эксплуатационных характеристик СО ТВР пункта управления с учетом применения управляемых вентильно-индукторных приводов, по сравнению с показателями технических и эксплуатационных характеристик СО ТВР пункта управления с применением известных электроприводов.

В работе представлена разработанная методика оценки технических и эксплуатационных характеристик СО ТВР пункта управления с учетом применения энергосберегающих элементов на базе управляемых вентильно-индукторных приводов.

Application of energy-saving technologies to provide the temperature and humidity control station to expand their functional capabilities and operational characteristics

Novikov A.D.

MADI, Moscow, Russia

The solution of numerous tasks of state defense is inextricably linked with the system for ensuring the temperature and humidity regime (SO TVR) of the control center.

Despite the variety of methods for evaluating the technical and operational characteristics of the TVR control point, taking into account the use of energy-saving elements and operating modes, the problem of improving the technical and operational characteristics of the TVR IS still not completely solved, due to many factors.

In order to improve the technical and operational characteristics of the TVR control point, a methodology was developed for evaluating the technical and operational characteristics of the TVR control point, taking into account the use of energy-saving elements based on controlled valve-inductor drives.

The developed method allows solving such basic tasks as thermal and aerodynamic calculation of the load on the control point's TVR WITH the use of energy-saving elements based on controlled valve-inductor drives.

In the method justified the appointment, composition and structure of the original data, the algorithm of methodology for assessing the technical and operational characteristics of the TVR control the application of energy-saving elements of managed switched-reluctance drives, example of the use of valuation techniques, technical and operational characteristics of the TVR control the application of energy-saving elements of managed switched-reluctance drives, specified the field of application of the developed methods and directions of its further improvement.

The paper presents a developed methodology for evaluating the technical and operational characteristics of the control point's TVR system, taking into account the use of energy-saving elements based on controlled valve-inductor drives.

The results of approbation of method on the example of existing energy-saving elements showed an increasing technical and operational characteristics of the TVR control with the use of controlled switched-reluctance drives, in comparison with indicators of technical and operational characteristics of the TVR control using known actuators.

Метод и программно-алгоритмическое обеспечение оценки холодопроизводительности систем обеспечения ТВР

Новиков В.Д.

МАДИ, г. Москва, Россия

Решение многочисленных задач промышленности, обороны и других отраслей государства неотрывно связано с обеспечением температурно-влажностного режима.

Не смотря на многообразие созданных средств и методик повышения функционирования оборудования, проблема с необходимостью дополнительного отвода тепла от холодильных установок и приборов полностью не решена, из-за множества факторов, влияющих на охлаждение оборудования пунктов управления.

С целью повышения работоспособности требуется научная разработка вопросов теплообмена в пунктах управления, которая позволила бы создать методику теплового расчета подземных сооружений различного объемно-планировочного и конструктивного решения, позволяющую также предопределять тепловые условия в процессе эксплуатации сооружений и выделить пути по регулированию теплового режима в них.

В практике проектирования освоены методики оптимизации требуемых значений показателей качества (ПК) на разработку новых образцов.

Проведенные исследования температурного режима подземных сооружений с учетом условий их длительной эксплуатации позволили выяснить влияние различных факторов на процесс теплопередачи и получить расчетные зависимости в виде достоверных методик.

Это позволяет дать оценку способам реализации технических решений по стабилизации температуры внутри пунктов управления, а также выработать предложения по улучшению этих способов.

Рассмотрение способов получения холода позволяет сказать, что при их реализации всегда возникает необходимость дополнительного отвода тепла от холодильных установок и приборов. В условиях автономного функционирования это абсолютно неприемлемо. Для обеспечения требуемой продолжительности периода автономного функционирования запасы холода на пунктах управления необходимо будет увеличивать, т.е. потребуются усовершенствование системы обеспечения температурно-влажностного режима.

В методике обоснованы назначение, состав и структура исходных данных, разработан алгоритм теплового расчета подземных сооружений, указаны области применения разработанной методики и направления её дальнейшего совершенствования.

Определяющим направлением дальнейшего развития и совершенствования СО ТВР является улучшение их качественных характеристик и, в первую очередь надежность, техническая готовность, управляемость, живучесть.

Method and software and algorithmic support for evaluating the cooling capacity of TVR support systems

Novikov V.D.

MADI, Moscow, Russia

The solution of numerous problems of industry, defense and other branches of the state is inextricably linked with the provision of temperature and humidity conditions.

Despite the variety of created means and methods for increasing the functioning of equipment, the problem of the need for additional heat removal from refrigeration units and devices has not been completely solved, due to many factors affecting the cooling of equipment in control points.

In order to improve the efficiency, it is necessary to scientifically develop the issues of heat exchange in control points, which would make it possible to create a methodology for the thermal calculation of underground structures of various space-planning and design solutions, which also makes it possible to predetermine the thermal conditions during the operation of structures and identify ways to regulate the thermal regime in them.

In the practice of design, techniques have been mastered to optimize the required values of quality indicators (PC) for the development of new samples.

The conducted studies of the temperature regime of underground structures, taking into account the conditions of their long-term operation, made it possible to clarify the influence of various factors on the heat transfer process and obtain calculated dependences in the form of reliable methods.

This makes it possible to assess the ways of implementing technical solutions for stabilizing the temperature inside control points, as well as to develop proposals for improving these methods.

Consideration of methods for obtaining cold allows us to say that when they are implemented, there is always a need for additional heat removal from refrigeration units and devices. In an autonomous operation, this is absolutely unacceptable. To ensure the required duration of the period of autonomous operation, the cold reserves at the control points will need to be increased, i.e. it will be necessary to improve the system for ensuring temperature and humidity conditions.

The methodology substantiates the purpose, composition and structure of the initial data, developed an algorithm for thermal calculation of underground structures, indicates the areas of application of the developed methodology and directions for its further improvement.

The defining direction for the further development and improvement of the SR TVR is to improve their quality characteristics and, first of all, reliability, technical readiness, controllability, survivability

Снижение массозатрат при сорбционно-каталитической очистке конденсата атмосферной влаги в системе регенерации воды космической станции

Павлов А.В., Бобе Л.С., Кочетков А.А.

НИИХиммаш, г. Москва, Россия

В настоящее время в работающей на Международной космической станции (МКС) системе СРВ-К2М очистка конденсата атмосферной влаги от примесей осуществляется следующим образом. Из системы кондиционирования воздуха поступает газожидкостная смесь – воздух с конденсатом, проходит через механический фильтр газожидкостной смеси (ФГС) и фильтр-реактор (ФР), где на катализаторе частично окисляются органические примеси за счёт кислорода транспортного воздуха. Далее конденсат сепарируется от транспортного воздуха и поступает на сорбционно-каталитическую очистку в блок колонок очистки БКО, из которого выходит вода близкая по качеству к дистиллированной. Моноблок БКО состоит из нескольких колонок, заполненных последовательно ионообменными смолами, платинопуглеродным катализатором и вновь ионообменными смолами для очистки от продуктов окисления на катализаторе. При этом лимитирующей стадией является каталитическая очистка в блоке БКО, в котором расходуется окислитель – кислород, запасённый в пористом катализаторе при изготовлении.

Эксперименты показали, что при подаче на очистку в катализатор конденсата, прошедшего очистку в ФГС и ФР, дополнительно очищенного от диссоциирующих на ионы примесей с одновременной подачей стехиометрического количества кислорода (можно в составе воздуха) и при соблюдении квазистационарного процесса с необходимой временной длительностью выработки ресурса платинопуглеродного катализатора не происходит. Процесс реализуется при температуре и давлении в обитаемом отсеке станции. При этом необходимо соблюдать ограничения по содержанию уксусной кислоты – продукта окисления основной трудноудаляемой примеси конденсата атмосферной влаги – этанола.

В этом случае целесообразно конструктивно разделить блок БКО на 3 части: ионообменник – катализатор (с подачей воздуха и сепаратором) – ионообменник, и заменять только ионообменники при исчерпании ресурса. Например, при сохранении объёмов

наполнителей такими же, как в моноблоке БКО, замена платиноуглеродного катализатора проводиться не будет, а замену ионообменников при выработке ресурса нужно будет проводить реже, чем в настоящее время. При этом удельный расход массы оборудования на очистку снизится с 0,055 кг оборудования на 1 кг очищенной воды до 0,013 кг оборудования на 1 кг очищенной воды, т.е. в 4 раза.

Reduction of mass consumption during sorption-catalytic purification of humidity condensate in the water regeneration system of the space station

Pavlov A.V., Bobe L.S., Kochetkov A.A.

NIICHIMMASH, Moscow, Russia

At present time the SRV-K2M system operating on the International space station (ISS) purifies humidity condensate from impurities as follows. From the air conditioning system, a gas – liquid mixture enters-air with condensate, passes through mechanical gas-liquid mixture filter (FGS) and reactor (FR), where organic impurities are partially oxidized on the catalyst due to oxygen in the transport air. Further, the condensate is separated from the transport air and enters the sorption-catalytic treatment in the block of purification columns (BKO), from which water close in quality to distilled water comes out. The BKO unit consists of several columns filled successively with ion-exchange resins, a platinum-carbon catalyst, and again with ion-exchange resins for purification from oxidation products on the catalyst. The limiting stage of the process is catalytic purification in the BKO. Oxidizing agent (oxygen) stored in the porous catalyst during manufacture is consumed for the oxidation reaction.

The experiments showed that during the catalytic purification of the condensate, which was previously purified in FGS and FR from impurities dissociating into ions and the simultaneous supply of a stoichiometric amount of oxygen (possibly in the composition of air) into the BKO and conducting a quasi-static process with the required time duration, the resource of the platinum-carbon catalyst does not decrease. The process is implemented at temperature and pressure in the station's habitable compartment. At the same time, it is necessary to observe the restrictions on the content of acetic acid, which is the oxidation product of the main impurity of the humidity condensate – ethanol.

In this case, it is advisable to structurally divide the BKO unit into 3 parts: ion exchanger – catalyst (with air supply and separator) – ion exchanger, and replace only ion exchangers when the resource is exhausted. For example, if the volume of fillers remains the same as in the BKO unit, the replacement of the platinum-carbon catalyst will not be carried out, and the replacement of ion exchangers during resource development will need to be carried out not so often than at present. At the same time, the specific mass consumption of equipment for cleaning will decrease from 0.055 kg of equipment per 1kg of treated water to 0.013 kg of equipment per 1kg of treated water, i.e. 4 times.

Оптимальный многорыбный межорбитальный перелет космического аппарата с идеально-регулируемым двигателем

Паинг С.Т.

МАИ, г. Москва, Россия

В рамках рассматриваемой математической модели дифференциальные уравнения движения КА записываются в равноденственных переменных, в качестве независимой переменной используется вспомогательная долгота и задача оптимизации межорбитального перелета формулируется как задача с заданной угловой дальностью и свободным временем перелета. Использование равноденственных элементов вместо декартовых координат позволяет избежать знакопеременности большинства орбитальных параметров, повысить точность и увеличить скорость численного интегрирования уравнений движения. Рассматривается задача оптимизация многорыбкового межорбитального перелета с фиксированной угловой дальности между двумя заданными точками в гравитационном поле Земли. В данной работе для решения задачи оптимизации используется непрямой метод принципа максимума Понтрягина. После применения принципа максимума Понтрягина задача оптимизация сводится к двухточечной краевой задаче, и краевая задача решается с

методом продолжения по параметру. Для применения метода продолжения по параметру, необходимо существование и невырожденность матрицы частных производных от невязок краевой задачи по начальным значениям сопряженных переменных на всем интервале продолжения. При этом для вычисления вектора невязок численно интегрируются дифференциальные уравнения движения с заданными начальными условиями и для вычисления частных производных от невязок по начальным значениям сопряженных переменных используется численное дифференцирование методом комплексного шага.

С выше указанными методами была разработана программа, проведены расчеты задачи оптимизации многовитковых межорбитальных перелетов: выведение низкоорбитального КА на круговую целевую орбиту, высокоэллиптическую орбиту, доведение КА на геостационарную орбиту. Полученные в результате оптимизации траектории КА с идеально-регулируемым двигателем, начальные значения сопряженных переменных используются в качестве начального приближения при решении задачи оптимизации многовитковых межорбитальных перелетов КА с малой тягой.

Optimal multi-revolution interorbital trajectory of spacecraft with ideally regulated engine Paing S.T.

MAI, Moscow, Russia

In the framework of the mathematical modeling of spacecraft motion, the differential equations in equinoctial elements are used, auxiliary longitude is used as an independent variable, and the problem of optimizing interorbital flight is formulated as a problem with a given fix angular range and free duration of transfer. Using equinoctial elements instead of Cartesian coordinates allows to avoid alternating signs of most orbital parameters, increase the accuracy and speed of numerical integration of equations of motion. The problem of optimizing a multi-revolution interorbital flight with a fixed angular range between two given points in the gravitational field of the Earth is considered. In this paper, the indirect method of the Pontryagin's maximum principle is used to solve the optimization problem. After applying the Pontryagin's maximum principle, the problem of optimization can be reduced to a two-point boundary value problem and the boundary value problem is solved by using continuation method. To apply the continuation method, the existence and non-degeneracy of the matrix of partial derivatives of the residuals of the boundary value problem with respect to the initial values of conjugate variables over the entire continuation interval is necessary. In this case, the differential equations of motion with the given initial conditions are numerically integrated to calculate the residual vector, and numerical differentiation by the complex step method is used to calculate partial derivatives of the residuals from the initial values of conjugate variables.

Using the above-mentioned methods, a program was developed and calculations were made for optimizing multi-revolution interorbital trajectories: launching a spacecraft from low orbit to a circular orbit, a high-elliptical orbit, and launching the spacecraft to geostationary orbit. The initial values of conjugate variables obtained as a result of optimizing the trajectory of spacecraft with ideally regulated engine are used as an initial approximation for solving the problem of optimizing multi-revolution interorbital low-thrust trajectories of spacecraft.

Корректирование расчетной динамической схемы беспилотного летательного аппарата по результатам наземных модальных испытаний

Парафесь С.Г., Туркин И.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается задача корректирования расчетной динамической схемы беспилотного летательного аппарата (БЛА) по результатам наземных модальных испытаний в интересах исследования флаттера и аэроупругой устойчивости БЛА с системой автоматического управления (САУ). На начальных этапах проектирования, когда еще нет опытных образцов БЛА, модальные характеристики (частоты, формы и обобщенные массы) находятся с использованием расчетной динамической схемы, разработанной по конструкторской документации. Расчеты, выполненные даже с применением современных конечно-элементных программных комплексов, не гарантируют точные значения модальных

параметров упруго-массовой схематизации конструкции, что вызывает необходимость корректирования расчетной динамической схемы БЛА по данным наземных модальных испытаний БЛА. После уточнения упруго-массовой расчетной схемы формируется модель для проведения исследования флаттера и аэроупругой устойчивости БЛА с САУ.

Задача корректирования относится к классу обратных задач, является трудоемкой и не имеет однозначного решения. Применительно к БЛА классов «воздух-воздух», «воздух-поверхность» «поверхность-воздух» сформулированы положения, позволяющие достигать удовлетворительные результаты:

- в числе данных, определяемых по конструкторской документации, инерционные характеристики являются более достоверными, а, следовательно, корректировать в первую очередь целесообразно жесткостные данные;

- изменение жесткости для определенного тона предпочтительнее делать в наиболее нагруженном месте, то есть в окрестности пучности на форме;

- важным является сравнение собственных форм; обычно они сравниваются качественно по числу узлов или расположению узловых линий на поверхности;

- характеристики конструкционного демпфирования, также необходимые в части расчетов, определяются лишь экспериментально одним значением для каждого тона, как правило, логарифмическим декрементом колебаний.

Рассмотренные положения процесса корректирования расчетной динамической схемы являются универсальными для решения любых задач динамической аэроупругости. При исследовании аэроупругой устойчивости БЛА с САУ важным является также корректирование по экспериментальным частотным характеристикам передаточной функции корпуса БЛА от сечения, в котором расположены оси вращения рулей, до сечения, соответствующего установке датчиков САУ. Это объясняется тем, что корпус непосредственно входит в состав контура стабилизации БЛА и существенно влияет на запасы устойчивости контура.

Correction of calculated dynamic scheme of unmanned aerial vehicle based on results of ground modal tests

Parafes S.G., Turkin I.K.

MAI, Moscow, Russia

The problem of correcting the calculated dynamic scheme of an unmanned aerial vehicle (UAV) based on the results of ground modal tests in the interests of studying the flutter and the aeroelastic stability of UAV with an automatic control system (ACS) is considered. At the initial design stages, when there are no UAV prototypes yet, modal characteristics (frequencies, shapes, and generalized masses) are found using the calculated dynamic scheme developed according to the design documentation. Calculations performed even with the use of modern finite element software systems do not guarantee the exact values of the modal parameters of the elastic-mass schematization of the structure, which makes it necessary to correct the calculated dynamic scheme of the UAV based on the data of ground-based modal tests of the UAV. After refining the elastic-mass calculation scheme, a model is formed for conducting a study of the flutter and the aeroelastic stability of UAV with ACS.

The correction problem belongs to the class of inverse problems, is time-consuming and does not have an unambiguous solution. With regard to UAV of "air-air", "air-surface" "surface-air" class it is possible to formulate a number of provisions that achieve satisfactory results:

- among data design documentation, inertial characteristics are more credible, and therefore stiffness characteristics should correct the first;

- changing the stiffness for a certain tone is preferable to do in the most loaded place;

- it is important to compare natural shapes; they are usually compared qualitatively by the number of nodes or the location of nodal lines on the surface;

- the characteristics of structural damping, which are also necessary for calculations, are determined only experimentally by one value for each tone, usually by the logarithmic decrement of vibrations.

The considered provisions of the process of correcting the calculated dynamic scheme are universal for solving any problems of dynamic aeroelasticity. When studying the aeroelastic stability of UAV with ACS, it is also important to correct the transfer function of the UAV body from the section in which the rudder rotation axes are located to the section corresponding to the installation of ACS sensors based on experimental frequency characteristics. This is due to the fact that the body is directly part of the UAV stabilization circuit and significantly affects the stability reserves of the circuit.

Перспективы применения малых ядерных энергетических установок

Пичужкин П.В., Хамадов Р.Р., Коротков А.И., Федюнин Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время существует немало проблем, которые нам поможет решить освоение дальнего космоса. Нехватка ресурсов, проблема перенаселения заставляют человечество искать новые пригодные для жизни планеты. Кроме того, в процессе создания кораблей и аппаратов, способных выполнять такие задачи, развивается наука и появляются различные технические устройства, которые облегчают и бытовую жизнь в том числе. Дальние космические полеты связаны с большим количеством различных проблем: низкими температурами, опасными видами излучений и прочими факторами, которые способны нанести вред аппаратуре, человеку и живым существам. Поэтому такая сложная кампания требует использования такой энергетической установки, которая сможет в течение длительного срока обеспечивать полет КА. Предлагается использование ядерного реактора, который лежит в основе новой ядерной двигательной установки и системы электроснабжения.

В настоящий момент, есть два основных типа космических двигателей, классифицируемых по своим источникам энергии: химические и атомные. ЖРД и ТРД достигли пределов своих модернизаций и уже не способны обеспечивать проекты дальнего космоса. Жидкостные и твердотопливные требуют использования слишком больших объемов топлива, кроме того, они имеют сравнительно небольшой КПД. В тоже время, конструкция ЯДУ позволяет снизить потребность в топливе: та масса, которая в ракете используется для хранения окислителя в случае использования ядерного двигателя может быть перераспределена на полезную нагрузку и дополнительный объем водорода, что позволит увеличить дальность полета.

Литература:

1. P.M. Sforza, M.L. Shooman, D.G. Pelaccio, A safety and reliability analysis for space nuclear thermal propulsion systems, *Acta Astronaut.* 30 (1993) 67-83
2. J. Leppanen, *Serpent e A Continuous-Energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code*, VTT Technical Research Centre of Finland, 2013
3. K.A. White, *Liquid Droplet Radiator Development Status*, NASA-TM-89852, 1987
4. S. Borowski, D. McCurdy, T. Packard, Nuclear thermal rocket/vehicle characteristics and sensitivity trades for NASA's Mars design reference architecture (DRA) 5.0 study, in: *Proceedings of Nuclear and Emerging Technologies for Space (NETS-2009)*, ANS, Atlanta, GA, USA, 2009
5. J. Paniagua, G. Maise, J. Powell, Converting the ISS to an Earth-Moon transport system using nuclear thermal propulsion, in: *Space Technology and Applications International Forum (STAIF 2008)*, AIP, Albuquerque, NM, USA, 2008, pp. 492-502

Aspects of using of small nuclear power rocket set

Pichuzhkin P.V., Hamadov R.R., Korotkov A.I., Fedunin D.A.

MAI, Moscow, Russia

Currently, there are many problems that deep space exploration will help us solve. Lack of resources, the problem of overpopulation make humanity look for new planets suitable for life. In addition, in the process of creating ships and devices capable of performing such tasks, science develops and various technical devices appear that facilitate everyday life as well. Long-distance space flights are associated with a large number of different problems: low temperatures, dangerous types of radiation and other factors that can harm equipment, humans and living beings. Therefore,

such a complex campaign requires the use of a power plant that will be able to support the spacecraft flight for a long time. The use of a nuclear reactor is proposed, which underlies the new nuclear propulsion system and power supply system.

Currently, there are two main types of space engines classified by their energy sources: chemical and nuclear. LPRE and turbojet engines have reached the limits of their upgrades and are no longer capable of supporting deep space projects. Liquid and solid fuel require the use of too large amounts of fuel, in addition, they have a relatively low efficiency. At the same time, the design of the nuclear power plant allows you to reduce the need for fuel: the mass that is used in the rocket to store the oxidizer in the case of using a nuclear engine can be redistributed to the payload and additional volume of hydrogen, which will increase the flight range.

References:

1. P.M. Sforza, M.L. Shooman, D.G. Pelaccio, A safety and reliability analysis for space nuclear thermal propulsion systems, *Acta Astronaut.* 30 (1993) 67-83.
2. J. Leppanen, *Serpent e A Continuous-Energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code*, VTT Technical Research Centre of Finland, 2013.
3. K.A. White, *Liquid Droplet Radiator Development Status*, NASA-TM-89852, 1987.
4. S. Borowski, D. McCurdy, T. Packard, Nuclear thermal rocket/vehicle characteristics and sensitivity trades for NASA's Mars design reference architecture (DRA) 5.0 study, in: *Proceedings of Nuclear and Emerging Technologies for Space (NETS-2009)*, ANS, Atlanta, GA, USA, 2009.
5. J. Paniagua, G. Maise, J. Powell, Converting the ISS to an Earth-Moon transport system using nuclear thermal propulsion, in: *Space Technology and Applications International Forum (STAIF 2008)*, AIP, Albuquerque, NM, USA, 2008, pp. 492-502.

Многомодульный имитатор тепловых нагрузок на поверхность космических аппаратов на основе сетчатых нагревателей

Пронина П.Ф., Колесников А.В., Палешкин А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Сетчатые нагреватели, применяемые при проведении автономных тепловвакуумных испытаний отдельных частей космических аппаратов и обладающие такими достоинствами как незначительное затенение криогенных экранов экспериментальной установки от излучения, исходящего от поверхности испытуемого объекта, простотой конструктивной реализации, имеют недостаток, чрезвычайно ограничивающий область их применения из за того, что каждый нагреватель должен участвовать в облучении лишь той преимущественно плоской поверхности испытуемого объекта, в непосредственной близости от которой он находится. Пересечение областей лучистого воздействия отдельных нагревателей приводит к появлению погрешностей моделирования облученности объекта с неплоской формой наружной поверхности. В связи с этим актуальной является задача создания имитатора модульного типа на основе сетчатых нагревателей, устанавливаемых вокруг испытуемого объекта на расстоянии, обеспечивающем возможность участия нескольких модулей в облучении различных по ориентации и расположению тепловоспринимающих элементов испытуемого объекта. Но при этом возникает проблема управления многомодульным имитатором, заключающаяся в определении такого характера распределения величин электрической мощности, подводимой к отдельным модулям, при котором расчетные внешние тепловые нагрузки на поверхность испытуемого объекта воспроизводились бы с максимально возможной для рассматриваемой имитационной системы точностью. Должна быть решена задача, относящаяся к классу обратных задач управления тепловыми процессами, где управляющие воздействия определяются вектором значений электрической мощности, подводимой к модулям имитатора, а эффект управления характеризуется вектором значений погрешностей воспроизведения заданных тепловых нагрузок на элементы поверхности испытуемого объекта.

Разработка принципиальной схемы имитатора модульного типа на основе сетчатых нагревателей и создание методического обеспечения управлением таким имитатором внешних тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата и является целью

аннотируемой работы. Результаты этой работы могут послужить теоретической базой для доработки тепловакуумных установок, оснащенных криогенными экранами, но не имеющих средств моделирования внешних тепловых потоков, до состояния пригодности их для проведения тепловакуумных испытаний космических аппаратов или их фрагментов.

Multi-module simulator of thermal loads on the surface of spacecraft based on mesh heaters

Pronina P.F., Kolesnikov A.V., Paleskin A.V.
MAI, Moscow, Russia

Grid heaters used for Autonomous thermal vacuum tests of individual parts of spacecraft and having such advantages as insignificant shading of the cryogenic screens of the experimental installation from radiation emanating from the surface of the test object, simplicity of design implementation, have a disadvantage that extremely restricts the scope of their application due to the fact that each heater must participate in irradiation only of the predominantly flat surface of the test object in the immediate vicinity of which it is located. The intersection of the areas of radiation exposure of individual heaters leads to errors in modeling the irradiation of an object with a non-planar shape of the outer surface. In this regard, the task of creating a modular type simulator based on mesh heaters installed around the test object at a distance that allows several modules to participate in irradiation of different orientation and location of heat-sensing elements of the test object is urgent. However, the problem of controlling a multi-module simulator arises, which consists in determining the distribution of electric power values supplied to individual modules, in which the calculated external thermal loads on the surface of the test object would be reproduced with the maximum possible accuracy for the simulation system under consideration. A problem related to the class of inverse problems of thermal process control must be solved, where the control actions are determined by the vector of values of electric power supplied to the simulator modules, and the control effect is characterized by the vector of values of errors in reproducing the specified thermal loads on the surface elements of the test object.

The purpose of this paper is to develop a schematic diagram of a modular type simulator based on mesh heaters and to create a methodological support for controlling such a simulator of external thermal loads on the surface of the spacecraft. The results of this work can serve as a theoretical basis for improving thermal vacuum installations equipped with cryogenic screens, but without means of modeling external heat flows, to the state of their suitability for conducting thermal vacuum tests of spacecraft or their fragments.

Адаптивный подход для регенерационных систем жизнеобеспечения экипажа долговременной космической станции

Прошкин В.Ю., Курмазенко Э.А.
НИИХиммаш, г. Москва, Россия

На долговременной обитаемой космической станции необходимы регенерационные системы жизнеобеспечения (РСЖО) экипажей для поддержания параметров атмосферы и обеспечения водой.

Динамика РСЖО: потоки массы, энергии (включая электрическое питание и отвод тепла), информации (управление, сигналы с датчиков); механические воздействия (работа исполнительных элементов, подключение-отключение внешнего оборудования). Внешние воздействия (ВВ) на РСЖО: параметры входных продуктов; влияние других систем и экипажа; окружающая среда (как условия работы системы). Отклик РСЖО на ВВ: внутренние параметры (ВП) и выход системы (ВС). ВП рассматриваются при штатной работе, нештатных ситуациях (НШС) и с учетом общей наработки. ВС – параметры выходных продуктов, влияние на другие системы и экипаж, влияние на окружающую среду.

Сегодня для большинства РСЖО требуется обеспечить узкий диапазон по ВВ, ВП и ВС, что очень затруднительно, требует дополнительных мер и вызывает НШС при отклонении от заданных пределов (опыт эксплуатации РСЖО показал, что такие отклонения неизбежны). Адаптивный подход для РСЖО: конструктивными и/или эксплуатационными мерами обеспечить устойчивую работу системы в широком диапазоне ВВ (адаптация к ВВ).

При этом допускаются значительные изменения ВП системы с целью поддержания ВС в определенных пределах (адаптация по ВП). Для повышения наблюдаемости и адекватной оценки внутреннего состояния РСЖО рассматриваются области локальных ВП (ОЛВП) в составе общей области допустимых значений ВП. Определенное ВВ дает свою стабильную ОЛВП системы (с определенным допуском – квазистабильное состояние). Изменение интенсивности ВВ вызывает переход ВП в другую стабильную область. Этапы перехода между ОЛВП: инерция (отсутствие изменения ВП за пределами ОЛВП, чтобы не реагировать на малые по величине и короткие по времени изменения ВВ), интенсификация (скорость изменения ВП постоянна или растет), адаптация (скорость изменения ВП снижается), стабилизация ВП в новой ОЛВП.

Адаптивный подход также применим для систем, работающих совместно в составе комплекса РСЖО. Это допускает более широкий диапазон параметров ВС (адаптация по ВС), особенно если выходной продукт одной системы используется другой.

Адаптивный подход:

- Должен применяться на стадии проектирования (создавать не оптимальные, а адаптивные РСЖО).
- Минимизирует число НШС и их влияние и повышает устойчивость РСЖО.
- Обеспечивает более высокий ресурс.

An adaptive approach for a the long-term space station regenerative life support systems

Proshkin V. Yu., Kurmazenko E.A.
NIICHIMMASH, Moscow, Russia

A long-term habitable space station requires the regenerative life support systems (RLSS) for maintaining atmospheric parameters and generating drinkable water.

RLSS dynamic state is determined by: mass flows, energy flows, data flows (control, sensors signals); mechanical procedures (operation of executive elements, connection-disconnection of external equipment). External impact variables (EV) of the RLSS include: input products parameters; direct and indirect influence of other systems and crew; environment (as the system's operating conditions). The reaction of the RLSS to EV represented by response variables (RV) and system output variables (SOV). RV evaluation based on overall runtime and system status – normal operation/off-normal situations (ONS). SOV is represented by: parameters of the output products, direct and indirect influence on other systems, on crew, on environment.

Today, most RLSS with the narrow range of values for EV, RV and SOV, which causes additional difficulties and can potentially cause ONS given deviations from the specified limits (RLSS operating experience has shown that such deviations are inevitable). An adaptive approach for RLSS is to ensure the stable system operation in a wide range of EV (adaptation to EV) by constructive and/or operational measures. In this case, significant changes in the system's RV are allowed in order to maintain the system's SOV within certain limits (adaptation by RV). To increase observability and adequately evaluate of RLSS, the local RV array (LRVA) is considered as part of the RV range of values main array. A certain EV provides its own corresponding LRVA of the system (with a potential for quasi-stable state). A change in the EV intensity causes the corresponding RV to transition into corresponding stable status. Transition stages between LRVA include: inertia (no values change in RV outside the LRVA to prevent response to insignificant changes in EV), intensification (RV values change is constant or accelerated), adaptation (RV values change is decelerated), RV stabilization in a new LRVA.

The adaptive approach is applicable for systems cooperating as RLSS complex. This allows for a wider range of SOV parameters (adaptation by SOV).

Adaptive approach:

- Should be applied at the design stage (creation of adaptive but not optimal RLSS).
- Minimizes the ONS number, potential ONS impact, increases the RLSS stability.
- Provides a higher resource.

Задачи развертывания и формообразования космической зонтичной антенны, состоящей из многозвенных гибких радиальных стержней, соединенных по параллелям растяжимыми тросовыми элементами

¹Русских С.В., ²Шклярчук Ф.Н.

¹МАИ, ²ИПРИМ РАН, г. Москва, Россия

Составные космические антенны достаточно больших размеров доставляются в космос в сложенном состоянии и затем под действием упругих сил предварительного напряжения «быстро» развертываются с сопровождающими этот процесс упругими нелинейными колебаниями. Обычно эта задача рассматривается отдельно от статической задачи формообразования.

В работе рассмотрены нелинейные задачи, связанные с моделированием и проектированием предлагаемой конструкции космической зонтичной антенны с каркасом, состоящим из многозвенных гибких нерастяжимых радиальных стержней, концы которых связаны между собой упруговязкими узловыми шарнирами, допускающими большие углы поворота.

Нелинейная задача динамики состоит в построении системы дифференциальных уравнений, которая в неподвижной системе координат описывает раскрытие антенны из транспортировочного сложенного положения в предварительное раскрытое положение перед ее формообразованием до заданной поверхности. На базе полученных уравнений, коэффициенты которых получены в наиболее общем виде, решены многочисленные примеры расчета для различных конфигураций антенны моделирования развертывания из одного положения в другое с помощью включения упруговязких зажимов, интегрированных в узловые шарниры, за счет упругих сил, с анализом сходимости по методике интегрирования и выбору шага интегрирования.

Нелинейная статическая задача формообразования антенны представлена в уточненной постановке. Деформированная форма антенны образуется за счет продольно-поперечного изгиба радиальных стержней и натяжения тросовых элементов под действием осевой силы, создаваемой гидроцилиндром с предварительно напряженной пружиной. Задача подбора жесткостных параметров тросовых элементов под заданные параметры радиальных стержней решается в геометрически нелинейной постановке для случая сильного изгиба по методу конечных элементов в комбинации с методом последовательных приближений. Выполнены примеры расчета с верификацией полученной математической модели на основе известной задачи сильного изгиба консольного стержня – эластика Эйлера.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 18-08-00778 а).

The problems of deployment and shaping of a space umbrella antenna consisting of multi-link flexible radial rods connected in parallel by tensile tether elements

¹Russkikh S.V., ²Shklyarchuk F.N.

¹MAI, ²IAM RAS, Moscow, Russia

Composite space antennas of sufficiently large dimensions are delivered into space in a folded state and then, under the action of elastic prestressing forces, "quickly" unfold with accompanying elastic nonlinear oscillations. Usually this task is considered separately from the static shaping task.

The paper considers nonlinear problems associated with modeling and designing the proposed design of a space umbrella antenna with a frame consisting of multi-link flexible inextensible radial rods, the ends of which are connected by elastic-viscous nodal hinges that allow large angles of rotation.

The non-linear problem of dynamics consists in constructing a system of differential equations, which in a fixed coordinate system describes the deployment of the antenna from the transport folded position to the preliminary opened position before its shaping to a given surface. On the basis of the equations obtained, the coefficients of which are obtained in the most general form, numerous examples of calculation for various antenna configurations of modeling the deployment from one position to another were solved by using elastic-viscous clamps integrated into the nodal

hinges, due to elastic forces, with an analysis of the convergence by the integration method and the choice of the integration step.

The nonlinear static problem of antenna shaping is presented in a refined formulation. The deformed shape of the antenna is formed due to the longitudinal-transverse bending of the radial rods and the tension of the cable elements under the action of an axial force created by a hydraulic cylinder with a pre-stressed spring. The problem of selecting the stiffness parameters of rope elements for the given parameters of radial rods is solved in a geometrically nonlinear formulation for the case of strong bending using the finite element method in combination with the method of successive approximations. Examples of calculation with verification of the obtained mathematical model are carried out on the basis of the well-known problem of strong bending of a cantilever bar – Euler's elastic.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project code 18-08-00778 a).

Особенности массопереноса в обратноосмотическом аппарате системы регенерации санитарно-гигиенической воды космической станции

¹Сальников Н.А., ²Бобе Л.С.

¹НИИХиммаш, ²МАИ, г. г Москва, Россия

Для длительных пилотируемых космических экспедиций актуальным является решение проблемы проведения санитарно-гигиенических процедур экипажа.

Ранее проведенные исследования показали эффективность обратного осмоса для регенерации санитарно-гигиенической воды с высоким коэффициентом возврата воды (97-98%) в контур водообеспечения. Обратный осмос эффективен при использовании общепринятых моющих средств. Подтверждена возможность применения общепромышленных рулонных мембранных модулей при режимах концентрирования не типичных для обратноосмотической аппаратуры и диктуемых требованиями к регенерации воды на космической станции.

Проведен анализ процесса массопереноса в рулонном обратноосмотическом модуле при регенерации модельных растворов и реальной санитарно-гигиенической воды, полученной после мытья рук, тела и стирки одежды. В результате экспериментальных исследований обратноосмотического разделения водных растворов моющих средств общего применения выявлен ряд особенностей.

Обнаружена не зависящая от концентрации очищаемой жидкости практически 100% селективность обратноосмотической мембраны типа РМ33К к компонентам моющего средства, которые представляют собой преимущественно низкомолекулярные органические вещества и трудно удаляются из растворов другими методами. Данный факт позволяет осуществлять снижение концентрации удаляемых компонентов в 6-20 раз в одну стадию разделения обратным осмосом при рабочем давлении 0,8 1,0 МПа с использованием запатентованного АО «НИИХиммаш» способа проведения процесса.

Выявлено, что компоненты моющих средств создают дополнительное сопротивление массопереносу воды через мембрану, предположительно образуя квазиадсорбционный слой, что снижает производительность мембранной аппаратуры, но не сказывается на эффективности регенерации воды. Разработана методика расчета производительности обратноосмотического аппарата, учитывающая влияние компонентов общепринятых моющих средств на производительность обратноосмотической мембраны РМ33К. Показано, что при использовании расширенной аналогии между массообменом и теплообменом в области постоянных чисел Нуссельта, так же необходимо вводить поправку от числа Льюиса.

Выдвинуто и экспериментально подтверждено предположение, что несмотря на предварительное фильтрование для обратноосмотической мембраны следует использовать закон фильтрования с образованием осадка, что позволило проводить прогноз ресурса обратноосмотической аппаратуры.

Aspects of mass transfer in the reverse osmosis apparatus of a space station hygiene water processing system

¹Salnikov N.A., ²Bobe L.S.

¹NIICHIMMASH, ²MAI, Moscow, Russia

It is urgent to solve the problem of crew hygiene procedures for long-term manned space expeditions.

Previous studies have shown the effectiveness of reverse osmosis for hygiene water processing with a high water return efficiency (97-98%) into the closed loop of water supply system. Reverse osmosis is effective for removing common detergents. Industrial spiral wound membrane modules are proved to be applicable at non-typical concentration modes for reverse osmosis apparatus and dictated by the space station requirements.

The analysis of mass transfer in a spiral wound reverse osmosis module during the processing of model solutions and real hygiene water obtained after washing hands, body and washing clothes was carried out. As a result of experimental studies of reverse osmosis aqueous common detergents solutions processing, a number of features have been revealed.

An almost 100% selectivity of the reverse osmosis PM33K membrane to detergent components which are predominantly low-molecular-weight organic substances and are difficult to remove from solutions by other methods has been revealed. The selectivity is independent of the purifying solution concentration. Reverse osmosis combined with the method patented by NIICHIMMASH makes it possible to reduce the concentration of the removed components by 6-20 times in one stage at an operating pressure of 0.8-1.0 MPa.

It was shown that the components of detergents create additional resistance to the water transfer through the membrane, presumably forming a quasi-adsorption layer, which reduces the performance of the membrane apparatus, but does not affect the water processing efficiency. A method for the reverse osmosis apparatus flux calculating has been developed, containing the effect of the components of common detergents on the reverse osmosis membrane PM33K flux. The Lewis number function introduction is shown to be necessary when using the extended analogy between mass transfer and heat transfer in the region of constant Nusselt numbers.

Despite preliminary filtration there was put forward and experimentally confirmed the assumption of necessity to use the law of filtration with the formation of a precipitate for the reverse osmosis membrane, which made it possible to predict the resource of reverse osmosis apparatus.

Метод термостатирования электронных систем шахтных пусковых установок, основанный на теплообмене в двухфазном потоке

Севастьянова Т.В., Соловьев М.С.

МАДИ, г. Москва, Россия

Применение двухфазных теплообменных аппаратов в составе систем термостатирования шахтных пусковых установок позволит повысить скорость теплоотведения в условия постоянно растущих мощностей электронного оборудования а, значит, обеспечить высокие уровни надежности электронных систем и, как следствие, повысить продолжительность периодов автономного функционирования шахтных пусковых установок. Цель исследования состоит в значительном увеличении скорости теплоотведения систем термостатирования шахтных пусковых установок на основе двухфазных теплообменных аппаратов.

По результатам выполненного анализа основных принципов разработки систем термостатирования шахтных пусковых установок и предъявляемых к ним требованиям, а также известных математических моделей, используемых при расчете процесса теплообмена с применением двухфазных потоков, а также по результатам моделирования теплообмена в двухфазном потоке были получены основные результаты исследования:

1) Обоснована актуальность научной проблемы исследования, заключающаяся в разработке метода термостатирования шахтных пусковых установок на основе двухфазных теплообменных аппаратов.

2) Предложена математическая модель теплообмена в двухфазных теплообменных аппаратах системы термостатирования шахтных пусковых установок, а также результаты математического моделирования теплообмена в двухфазном потоке рабочего тела.

3) Разработаны выводы о целесообразности применения и ожидаемом приросте скорости теплоотведения в теплообменных аппаратах систем термостатирования электронных систем шахтных пусковых установок и на основе двухфазных потоков.

The mine launchers electronic systems cooling method based on a heat exchange process in a two-phase flow

Sevastianova T.V., Soloviev M.S.

MADI, Moscow, Russia

The use of two-phase heat exchangers as part of thermostating systems for mine launchers will increase the rate of heat removal in the face of constantly growing capacities of electronic equipment and, therefore, ensure high levels of reliability of electronic systems and, as a result, increase the duration of the periods of autonomous operation of mine launchers. The aim of the study is to significantly increase the rate of heat removal of thermostating systems of mine launchers based on two-phase heat exchangers.

Based on the results of the analysis of the basic principles of the development of thermostating systems for mine launchers and the requirements for them, as well as the well-known mathematical models used in calculating the heat transfer process using two-phase flows, as well as the results of modeling heat transfer in a two-phase flow, the main research results were obtained:

1) The urgency of the scientific research problem is substantiated, which consists in the development of a method for thermostating mine launchers based on two-phase heat exchangers.

2) A mathematical model of heat transfer in two-phase heat exchangers of the thermostating system of mine launchers is proposed, as well as the results of mathematical modeling of heat transfer in a two-phase flow of the working fluid.

3) Conclusions have been developed on the feasibility of using and the expected increase in the rate of heat removal in heat exchangers of thermostating systems for electronic systems of mine launchers and based on two-phase flows.

Программа анализа траектории возвращения КА с круговой окололунной орбиты на Землю в рамках метода грависфер нулевой протяженности

Сесюкалов В.А., Константинов М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Разработана программа анализа траектории возвращения КА с круговой окололунной орбиты на Землю с учетом заданной геоцентрической широты места посадки спускаемого аппарата. Используемый алгоритм основан на методе грависфер нулевой протяженности. Алгоритм включает следующие блоки (этапы): анализ геоцентрической траектории; блок подготовки данных для анализа селеноцентрического участка перелетной траектории; анализ селеноцентрического участка перелетной траектории; блок определения требуемого минимального импульса скорости при переходе с начальной окололунной орбиты на гиперболу отлета от Луны; блок определения оптимальных параметров геоцентрического участка при фиксированной дате старта; блок определения оптимальной даты старта.

Критерий оптимизации траектории - величина требуемого импульса скорости при старте с окололунной орбиты. Выбираемые характеристики схемы перелета: дата старта КА с окололунной орбиты, аргумент широты точки старта, величина и направление импульса скорости при старте с окололунной орбиты, время перелета КА. Используемый алгоритм вводит следующие оптимизируемые параметры при анализе отдельных участков траектории. При анализе геоцентрического участка таких параметров два: истинная аномалия точки входа КА в атмосферу Земли и инерциальная долгота этой точки. Вектор гиперболического избытка скорости (как и остальные характеристики траектории) анализируется как функция этих двух параметров. При анализе селеноцентрического участка вводится параметр, определяющий точку старта с окололунной орбиты относительно проекции вектора гиперболического избытка скорости на плоскость окололунной орбиты. Важной

особенностью используемого алгоритма является то, что он не содержит никаких итерационных процедур, никаких методов локальной оптимизации, так как основан на переборе четырех выбираемых параметров в известном диапазоне. Это обеспечивает получение глобальной оптимальной траектории в рамках рассматриваемой схемы перелета и рассматриваемого метода исследования.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации, выделяемого из федерального бюджета для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях и государственных научных центрах Российской Федерации (VII очередь, постановление Правительства РФ №220 от 09.04.2010). Соглашение №075-15-2019-1894 от 03.12.2019.

A program of analysis of returning trajectory of a spacecraft from circular circumlunar orbit to Earth in a case of zero-length gravisphere method

Sesyukalov V.A., Konstantinov M.S.

MAI, Moscow, Russia

A program of analysis of returning trajectory of a spacecraft from circular lunar orbit to Earth for given geocentric latitude of descending vehicle landing place has been developed. Implemented algorithm is based on the zero-length gravisphere method. The algorithm contains such sections as analysis of geocentric trajectory, a section to build-up initial data to analyze the selenocentric trajectory, analysis of the selenocentric trajectory, a section to obtain minimum required velocity impulse to transfer spacecraft from initial circumlunar orbit to hyperbole selenocentric orbit of departure of Moon vicinity, a section to obtain optimal parameters of geocentric orbit with a date of start being fixed, a section to obtain optimal date of start.

Chosen criteria of trajectory optimization is a value of velocity impulse required to start from circumlunar orbit. The chosen characteristics of transfer are the date of start from the circumlunar orbit, latitude argument of start point, value and direction of velocity impulse to start from initial orbit, time of transfer. Implemented algorithm uses a few more parameters during intermediate calculations. There are two of them in the geocentric section the true anomaly of entry point of descending vehicle into Earth atmosphere and inertial longitude of this point. A vector of hyperbolic excess of a velocity (like all other parameters of trajectory) is parsed as a function of these two parameters. While analyzing selenocentric section of SC trajectory the parameter locating a start point from circumlunar orbit relative to projection of vector of hyperbolic excess of velocity to the circumlunar orbit plane has been used. Important feature of this algorithm is avoiding any iterative procedures or any local optimization methods since based on the enumeration of four chosen parameters in the known ranges. This leads to global optimization of trajectory in the context of considered transfer plan and the used research method.

This study was supported by the grant of the Government of the Russian Federation allocated from the federal budget for state support of scientific research conducted under the guidance of leading scientists in Russian educational institutions of higher education, research institutions and state research centers of the Russian Federation (Contest 7, Resolution No.220 of the Government of the Russian Federation of April 9, 2010). Agreement No. 075-15-2019-1894 of December 3, 2019.

Методика моделирования и оценки работоспособности телескопических гидроцилиндров механизмов подъема агрегатов ТУО перспективных РК с применением системы обеспечения синфазности их движения

Спица А.В.

МАДИ, г. Москва, Россия

В ракетных комплексах (РК) стратегического назначения используется транспортно-установочное оборудование (ТУО) на базе телескопических гидроцилиндров для установки/извлечения изделия в (из) сооружения. Применение системы обеспечения синфазности выдвигания штоков телескопических гидроцилиндров в механизмах подъема агрегатов дает возможность повысить безопасность ТУО при работе с изделием.

Объектом исследования являются телескопические гидроцилиндры механизмов подъема подъемно-транспортного оборудования наземных комплексов с применением системы обеспечения синфазности их выдвигания и убирания.

Цель работы – составление методики моделирования и оценки работоспособности телескопических гидроцилиндров механизмов подъема подъемно-транспортного оборудования наземных комплексов.

От повышения устойчивости системы обеспечения синфазного движения штоков гидроцилиндров механизмов подъема подъемно-транспортного оборудования наземных комплексов зависит ее работоспособность. Для повышения точности и одновременности движения штоков гидроцилиндров необходимо дополнительно определять давление и расход в системе.

В результате выполненных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1) предложенная методика моделирования и оценки работоспособности телескопических гидроцилиндров механизмов подъема подъемно-транспортного оборудования наземных комплексов может позволить обеспечить высокоточное синфазное выдвигание/убирания штоков телескопических гидроцилиндров, исключить разноход, и, как следствие, повысить безопасность подъемно-транспортного оборудования наземных комплексов;

2) составлена математическая модель телескопического гидроцилиндра и получены результаты ее анализа;

3) создание стенда и проведение статических и динамических испытаний телескопических гидроцилиндров с применением предложенной методики моделирования и оценки работоспособности позволит получить экспериментальные значения точности синхронизации.

Methodology for modeling and assessing the performance of telescopic hydraulic cylinders for lifting mechanisms of handling equipment for ground complexes with the use of a system for ensuring their in-phase movement

Spitsa A.V.

MADI, Moscow, Russia

Transport and installation equipment (TIE) based on telescopic hydraulic cylinders is used in strategic missile systems (MS) for installation / removal of a product in (from) a structure. The use of the system for ensuring in-phase extension of the telescopic hydraulic cylinders' rods in the lifting mechanisms of the units makes it possible to increase the safety of the TIE when working with the product.

The object of the research is the telescopic hydraulic cylinders of the mechanisms for lifting the handling equipment for ground complexes with the use of a system for ensuring the in-phase of their extension and retraction.

The purpose of the work is to draw up a methodology for modeling and assessing the performance of telescopic hydraulic cylinders for lifting mechanisms of handling equipment for ground complexes.

The efficiency of the system depends on increasing the stability of the system for ensuring the in-phase movement of the hydraulic cylinder rods of the lifting mechanisms of the handling equipment for ground complexes. It is necessary to additionally determine the pressure and flow rate in the system to improve the accuracy and simultaneous movement of the hydraulic cylinder rods.

As a result of the studies performed, the following main conclusions were made:

1) the proposed method for modeling and evaluating the performance of telescopic hydraulic cylinders of the mechanisms for lifting handling equipment for ground complexes allows for high-precision in-phase extension / retraction of the telescopic hydraulic cylinder rods, eliminating the divergence, and, as a result, increasing the safety of handling equipment for ground complexes;

2) a mathematical model of a telescopic hydraulic cylinder was compiled and the results of its analysis were obtained;

3) the creation of a stand and carrying out static and dynamic tests of telescopic hydraulic cylinders using the proposed modeling and performance evaluation technique will allow obtaining experimental values of synchronization accuracy.

Использование статистического моделирования техногенного засорения околоземного космического пространства для оценки вероятности возникновения нештатных ситуаций с функционирующими космическими аппаратами

Степанова Г.В., Степанов Д.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В условиях увеличивающегося роста техногенного засорения околоземного космического пространства актуальной проблемой является прогноз столкновений космических аппаратов с частицами космического мусора, микрометеороидами и разработка предложений по защите космических аппаратов. В ночь с 17 на 18 декабря 2019 года российский метеоспутник «Метеор-М» № 2-2 предположительно столкнулся с космическим объектом на солнечно-синхронной орбите с высотой H_{sr} –810 км, вследствие чего произошла разгерметизация КА. В статье представлена методика анализа нештатных ситуаций столкновения космических аппаратов с частицами космического мусора и микрометеороидами. Анализ возможных причин нештатной ситуации с КА «Метеор-М» № 2-2 выполнен с использованием модели SDPA, которая описывает состояние космического мусора и микрометеороидов в околоземном космическом пространстве с использованием законов баллистики космического полета и методов статистического моделирования. Так же в статье проведено сравнение оценки плотности потока космического мусора и микрометеороидов, вычисленные по зарубежным моделям техногенного засорения ORDEM 3.0 и MASTER 8.0, а также по модели SDPA.

С использованием разработанной методики, а также проектного облика функционирующего аппарата проведен анализ выхода из строя КА «Метеор-М». Дано заключение о вероятности столкновения КА с фрагментами космического мусора. Определены размеры фрагментов КМ, представляющие наибольшую опасность для отдельно исследуемого КА. Сделано заключение о необходимости мер, компенсирующих возможные повреждения КА.

Use of statistical modeling of technogenic clogging of near-earth space to assess the probability of occurrence of emergency situations with functioning spacecraft

Stepanova G.V., Stepanov D.V.
MAI, Moscow, Russia

In the context of the increasing growth of technogenic clogging of near-earth space, an urgent problem is the prediction of collisions of spacecraft with space debris particles, micrometeoroids, and the development of proposals for the protection of spacecraft. On the night of December 17-18, 2019, the Russian Meteor-M satellite No. 2-2 allegedly collided with a space object in a sun-synchronous orbit with an altitude of H_{sr} –810 km, as a result of which the satellite was depressurized. The article presents a method for analyzing emergency situations when spacecraft collide with space debris particles and micrometeoroids. The analysis of possible causes of an emergency with the Meteor-M No. 2-2 satellite was performed using the SDPA model, which describes the state of space debris and micrometeoroids in near-earth space using the laws of space flight ballistics and statistical modeling methods. The article also compares estimates of the density of the space debris flow and micrometeoroids calculated using foreign models of technogenic clogging ORDEM 3.0 and MASTER 8.0, as well as the SDPA model.

Using the developed methodology, as well as the design appearance of the functioning device, the analysis of the failure of the Meteor-M spacecraft was carried out. A conclusion is given about the probability of a satellite collision with fragments of space debris. The sizes of space debris fragments that are most dangerous for a separate satellite under study are determined. The conclusion is made about the need for measures to compensate for possible damage to the equipment.

Анализ аналитических и экспериментальных данных о составе загрязняющих примесей, выделяемых при возгорании ПСК

Теммоева Ф.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Целью данной работы является анализ имеющихся в литературе, а также доступных экспериментальных данных о составе, концентрации и предельно допустимых значениях загрязняющих примесей, выбрасываемых в атмосферу космического корабля при возгорании. Исследование рассматриваемых массивов данных необходимо для моделирования системы предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций на борту космического аппарата при длительном космическом полете в условиях полной информационной изоляции от наземных служб поддержки и сопровождения полета.

В настоящее время космические полеты вступают в новую эру, эру которая будет ознаменована, по большей части, межпланетными полетами и долгосрочными экспедициями в космическое пространство. Несмотря на то, что NASA и Роскосмос ставят перед собой различные долгосрочные цели в области изучения и освоения глубокого космоса, все же обе космические организации проявляют наибольшую заинтересованность в разработке автоматизированной системы оперативного контроля и управления качеством среды обитания космического аппарата. Как при осуществлении пилотируемых полетов на Марс, так и при пилотируемых миссиях на поверхность Луны особого внимания заслуживают подсистемы предупреждения возникновения ЧС, являющиеся частью системы анализа и контроля показателей атмосферы обитаемых отсеков космических аппаратов.

Согласно проведенному в работе аналитическому обзору выделяются следующие классы загрязняющих веществ, вносящих наибольший вклад в загрязнение атмосферы космического аппарата: предельные, непредельные и ароматические углеводороды (бензол, толуол, этилбензол, стилол и др.), спирты (этанол, метанол и др.), альдегиды (ацетальдегид, акролеин), кетоны (ацетон, метилэтилкетон), сложные эфиры.

Результатом работы является аналитическая оценка данных о количественном и качественном составе загрязняющих примесей, выделяемых при возгорании.

Analysis of experimental and analytical data on the composition of the contaminants released during fire manned spacecraft

Temmoeva F.M.

MAI, Moscow, Russia

The purpose of this work is to analyze the available in the literature as well as available experimental data on the composition, concentration and maximum permissible values of pollutants emitted into the atmosphere of a spacecraft during a fire. The study of the data sets under consideration is necessary to simulate an emergency warning system on board a spacecraft during a long space flight in conditions of complete information isolation from ground support and flight support services.

Currently, space travel is entering a new era, an era that will be marked, for the most part, by interplanetary flights and long-term expeditions to outer space. Despite the fact that NASA and Roscosmos set different long-term goals in the field of deep space exploration and development, both space organizations are most interested in developing an automated system for operational control and management of the quality of the spacecraft's environment. Both during manned flights to Mars and during manned missions to the lunar surface, special attention should be paid to the emergency warning subsystems that are part of the system for analyzing and monitoring the atmosphere of the spacecraft's habitable compartments.

According to the analytical review, the following classes of pollutants that make the greatest contribution to atmospheric pollution of the spacecraft are distinguished: limit, unsaturated and aromatic, alcohols, aldehydes, ketones, esters.

The result of the work is an analytical assessment of data on the quantitative and qualitative composition of pollutants released during fire.

Результаты математического моделирования движения подвижных наземных технологических комплексов ракетной техники на базе автопоездов с переменной скоростью с учетом условий движения и плавности хода

¹Чернецкая М.Л., ²Сова А.Н., ²Мазлумян Г.С.

¹НПО Лавочкина, г. Химки, Россия

²МАДИ, г. Москва, Россия

Обоснование выбора состава и параметров подвижных наземных технологических комплексов ракетной техники на базе автопоездов с целью обеспечения повышения средней скорости его движения необходимо проводить с учетом переменной скорости движения. Для повышения средней скорости движения наземные технологические комплексы ракетной техники должно перемещаться с максимальной допустимой скоростью движения без повреждения груза, неприятных ощущений у механика-водителя (человека-оператора) и с учетом качества дорожного покрытия. В связи с вышеизложенным, следует отметить, что ограничение максимального значения текущей наземных технологических комплексов ракетной техники средства обусловлено следующими основными факторами:

- стойкостью и защищенностью транспортируемых грузов, учитываемой средним квадратическим значением (СКЗ);

- субъективным восприятием механиком-водителем (человеком-оператором) колебаний транспортного средства при движении по неровностям;

- субъективным восприятием механиком-водителем (человеком-оператором) качества дорожного покрытия, учитываемого СКЗ высот неровностей микропрофиля.

При разработке модифицированной модели прямолинейного движения подвижных наземных технологических комплексов ракетной техники на базе автопоездов с учетом режимов разгона, замедления и торможения был проведен анализ влияния микропрофиля дороги на скорость движения подвижного наземного технологического комплекса ракетной техники. Так же, был выполнен выбор условий ограничения и регулирования скорости движения подвижного наземного технологического комплекса ракетной техники. Были учтены особенности математических моделей динамики подвижного наземного технологического комплекса ракетной техники на базе автопоезда и воздействия при движении с переменной скоростью.

Анализ влияния микропрофиля дороги на скорость движения тягача показал, что скорость движения на неровных дорогах определяется, в основном, величиной допустимых вертикальных ускорений кузова.

Для того, чтобы приблизить моделирование динамики подвижного наземного технологического комплекса ракетной техники на базе автопоезда к реальным условиям эксплуатации, требуется определять переменную скорость движения, что позволит учесть влияние микропрофиля дороги на возникающие при движении вертикальные перегрузки в любой момент времени.

Results of mathematical modeling of movement of mobile ground technological complexes of rocket technology based on road trains with variable speed, taking into account the conditions of movement and smoothness

¹Cherneckaya M.L., ²Sova A.N., ²Mazlumyan G.S.

¹NPO Lavochkin, Khimki, Russia

²MADI, Moscow, Russia

Justification of the choice of the composition and parameters of mobile ground technological complexes of rocket technology based on road trains in order to ensure an increase in the average speed of its movement must be carried out taking into account the variable speed of movement. To increase the average speed of movement, ground technological complexes of rocket technology must move with the maximum permissible speed of movement without damaging the load, unpleasant sensations for the driver (human operator) and taking into account the quality of the road surface. In connection with the foregoing, it should be noted that the limitation of the

maximum value of the current ground technological complexes of the missile technology of the facility is due to the following main factors:

- durability and security of transported goods, taken into account the root mean square value (RMS);

- subjective perception by a driver-mechanic (human operator) of vehicle vibrations when driving over bumps;

- subjective perception by the driver-mechanic (human operator) of the quality of the road surface, taken into account by the RMS of the heights of the irregularities of the micro-profile.

When developing a modified model of the rectilinear motion of mobile ground technological complexes of rocket technology based on road trains, taking into account the modes of acceleration, deceleration and braking, an analysis was made of the influence of the road micro-profile on the speed of movement of the mobile ground technological complex of rocket technology. Also, the choice of conditions for limiting and regulating the speed of movement of the mobile ground technological complex of rocket technology was made. The features of the mathematical models of the dynamics of the mobile ground technological complex of rocket technology based on the road train and the impact when moving at variable speed were taken into account.

Analysis of the influence of the road micro-profile on the speed of the tractor showed that the speed of movement on uneven roads is mainly determined by the value of the permissible vertical accelerations of the body.

In order to bring the simulation of the dynamics of a mobile ground technological complex of rocket technology based on a road train closer to real operating conditions, it is necessary to determine a variable speed of movement, which will take into account the influence of the road micro-profile on the vertical overloads that occur during movement at any time.

Оценка области эффективного применения комбинированной двигательной установки на основе электролиза воды для управления движением малых космических аппаратов, используемых для исследования небесных тел с малой гравитацией

Шалашов М.А.

ЮУрГУ, г. Челябинск, Россия

КДУ для МКА должна обладать следующими характеристиками:

- Сверхмалыми массой и габаритами.
- Высокой надежностью при неограниченном числе циклов включений/выключений.
- Малой тягой, высоким импульсом, возможностью дросселирования тяги.
- Широкой областью применения (довыведение МКА на рабочую орбиту, выполнение процедуры отлета, выход на орбиту небесного тела, коррекция орбиты, посадка и взлет с небесного тела с малой гравитацией).

В состав КДУ входят следующие компоненты:

- Солнечные панели и электрический генератор (ASRG).
- Перезаряжаемые батареи.
- Система хранения топлива (баки для воды и продуктов электролиза).
- Система электролиза воды (электролизер на основе PEM).
- Химический РДМТ на компонентах кислород(газ) и водород(газ).
- ЭРД, работающий на избытках рабочего тела (РТ).

Эффективное использование массы РТ позволяет увеличить долю полезной нагрузки, увеличивая общую эффективность использования массы МКА. Основным фактором, определяющим эффективность использования массы РТ, является скорость его истечения. Поэтому в перспективных МКА всё активнее используются ЭРД. Использование в ЭРД внешнего источника энергии позволяет разгонять рабочее тело до более высоких скоростей, чем в химических двигателях, где верхняя граница скорости ограничена энергией, выделяемой в ходе химических реакций используемых компонентов топлива. Однако ЭРД могут обеспечить лишь малую тягу, что ограничивает область их применения (в основном – формирование орбиты) и накладывает ограничения на диапазон возможных миссий вблизи малых тел. Для перспективных МКА выполнение подобных миссий возможно при

совместном применении электрических и химических двигателей, работающих на едином РТ в составе единой КДУ. Применение таких КДУ сопряжено с необходимостью определения состава КДУ и МКА, отвечающий задачам выполняемой миссии и известным параметрам МКА еще на проектном этапе. Для решения проблемы предложен метод поиска рационального состава КДУ и, в целом, МКА.

Для тестирования предложенного метода разработан математический аппарат, написан программный код, выявлены необходимые проектные зависимости. В ходе моделирования тестовой миссии к астероиду (24) Фемида, были определены параметры, при которых применение КДУ является обоснованным. Предложенный метод позволяет на проектном этапе определить целесообразность применения КДУ для выполнения МКА заданных циклограммой операций и выявить наиболее рациональный состав рассматриваемого МКА и входящего в его состав КДУ.

Evaluation of the area of effective application of the combined propulsion system based on water electrolysis to control the motion of small spacecraft used for the study of celestial bodies with low gravity

Shalashov M.A.

SUSU, Chelyabinsk, Russia

The CPS for SS should have the following characteristics:

- Lightweight and compact.
- High reliability with an unlimited number of on/off cycles.
- Small thrust, high impulse, ability to throttle thrust.
- A wide range of applications (moving the SS into a working orbit, performing the departure procedure, entering the orbit of the celestial body, correction of orbit, landing and takeoff from the celestial body with low gravity).

The following components are part of the CPS:

- Photovoltaic converters and electric generator (ASRG).
- Rechargeable batteries.
- Fuel storage system (tanks for water and electrolysis products).
- Water electrolysis system (PEM electrolysis).
- Small-scale LPRE on oxygen (gas) and hydrogen (gas) components.
- Electromagnetic engine (EE) working on excess working fluid (WF).

Efficient use of the WF mass allows increasing the share of the payload, increasing the overall efficiency of SS mass utilization. The main factor determining the efficiency of the WF mass utilization is the rate of its flow. Therefore, EE is increasingly being used in promising SSs. The use of an external energy source in EE allows to accelerate the working body to higher speeds than in chemical engines, where the upper speed limit is limited by the energy released during chemical reactions of the used fuel components. However, EE can provide only a small thrust, which limits the scope of their application (mainly orbit formation) and imposes restrictions on the range of possible missions near small bodies. For prospective SS, such missions can be performed when electric and chemical engines working on a single WF in a single CPS are used together. However, the use of such CPS is associated with the need to determine the composition of CPS and SS, which meets the objectives of the mission and the known parameters of SS on the design stage. To solve this problem, the method of searching for rational composition of CPS and SS in general is suggested.

To test the proposed method, a mathematical model was developed, a program code was written, and necessary project dependencies were identified. In the course of modeling the test mission to the asteroid (24) Themis, the parameters at which the application of CPS is justified were determined. The proposed method allows to determine at the project stage the expediency of CPS application for SS operations specified by the flight plan and to reveal the most rational composition of the considered SS and CPS included in it.

Проектно-баллистический анализ выведения солнечного зонда на низкую гелиоцентрическую орбиту

Шевченко В.В., Константинов М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Проведён проектно-баллистический анализ проекта солнечного зонда (КА для исследования Солнца). Выведение КА на стартовую околоземную орбиту обеспечивается ракетой-носителем «Союз-2.1Б». Химический разгонный блок (ХРБ) «Фрегат» обеспечивает отлет КА из окрестности Земли с оптимизируемой величиной гиперболического избытка скорости. Анализируется схема перелета с гравитационным маневром у Земли и последовательностью гравитационных маневров у Венеры. Исследуется возможность многократного включения химического ракетного двигателя КА при реализации гелиоцентрического перелета Земля-Земля-Венера. После последнего гравитационного маневра у Венеры наклонение орбиты к плоскости эклиптики должно быть достаточно большим (не менее 30°). Выбираемые параметры схемы перелета: дата старта; величина и направление вектора гиперболического избытка скорости при старте от Земли; количество импульсов скорости на гелиоцентрическом перелете Земля-Земля, их даты, величины и направления; параметры гравитационного маневра у Земли; дата, величина и направление импульса скорости на гелиоцентрическом перелете Земля-Венера; параметры гравитационных маневров у Венеры. Критерием оптимизации рассматривается конечная масса КА (масса КА при первом подлете к Венере). Учитывается ограничение времени выведения КА на последнюю рабочую орбиту (не более 5 лет).

Результаты исследования. Оптимальная дата старта 24 января 2027 года. Импульс скорости ХРБ 3507 м/с. Оптимальное число включений двигателя на траектории Земля-Земля равно одному включению. Это включение осуществляется 146.2 сутки, импульс скорости равен 1971 м/с. Гравитационный маневр у Земли осуществляется на 442.0 сутки полета. Гиперболический избыток скорости при этом гравитационном маневре равен 8610 м/с. Маневр обеспечивает выход КА на траектории пассивного гелиоцентрического перелета Земля-Венера. Длительность этого перелета 50.0 суток. Гиперболический избыток скорости при подлете к Венере 16445 м/с. Масса КА при подлете в Венере 937.7 кг.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации, выделяемого из федерального бюджета для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях и государственных научных центрах Российской Федерации (VII очередь, постановление Правительства РФ №220 от 09.04.2010). Соглашение №075-15-2019-1894 от 03.12.2019.

Design and ballistic investigation of the solar probe insertion into the low heliocentric orbit

Shevchenko V.V., Konstantinov M.S.

MAI, Moscow, Russia

Design and ballistic investigation of the solar probe project (a spacecraft for Solar research) was realized. The spacecraft is launched into the low-earth orbit by the «Soyuz-2.1B» launch vehicle. «Fregat» is a chemical upper stage (CUS) that induces spacecraft flyout from Earth's environs using an optimized hyperbolic surplus of the velocity. Flight model with a gravity manoeuvre near Earth and a sequence of gravity manoeuvres near Venus is analyzed. Possibility of multi-rate activation of the chemical rocket engine of the spacecraft during the heliocentric Earth-Earth-Venus flight is investigated. After last gravity manoeuvre near Venus, inclination of orbit to ecliptic plane should be quite large (at least 30°). Chosen parameters of flight scheme are start date; magnitude and direction of the hyperbolic surplus vector of the velocity when spacecraft starts from Earth; number of velocity pulses on the heliocentric Earth-Earth flight, their dates, values and directions; parameters of the gravity manoeuvre near Earth; date, magnitude, and direction of velocity pulse on the heliocentric Earth-Venus flight; parameters of the gravity manoeuvres near Venus. Optimization criterion is terminal mass of the spacecraft (the spacecraft mass at the first approach

to Venus). Time limit for launching the spacecraft into the last work orbit (up to 5 years) is taken into account.

Optimal launch date is January 24, 2027. CUS velocity pulse is 3507 m/s. Optimal number of engine starts on a Earth–Earth trajectory is one. This activation is carried out 146.2 days, the speed pulse is equal to 1971 m/s. Gravity manoeuvre near Earth is performed after 442 days of flight. Hyperbolic surplus of velocity of this slingshot is 8610 m/s. Maneuver allows spacecraft to enter the trajectory of a passive heliocentric Earth–Venus flight. Interval of flight is 50 days hyperbolic surplus of velocity is 16445 m/s when spacecraft approaches to Venus. Mass of spacecraft on approach to Venus is 937.7 kg.

This study was supported by the grant of the Government of the Russian Federation allocated from the federal budget for state support of scientific research conducted under the guidance of leading scientists in Russian educational institutions of higher education, research institutions and state research centers of the Russian Federation (Contest 7, Resolution No.220 of the Government of the Russian Federation of April 9, 2010). Agreement No. 075-15-2019-1894 of December 3, 2019.

Перспективный имитатор солнечного излучения для термовакuumных испытаний космических аппаратов

¹Шевчук А.А., ¹Пастушенко О.В., ²Двирный Г.В.

¹АО «ИСС», г. Железнодорожск, Россия

²СибГУ им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

Подавляющее большинство крупногабаритных имитаторов солнечного излучения (ИСИ), применяемых при термовакuumных испытаниях (ТВИ) космических аппаратов, построено на основе газоразрядных ксеноновых ламп. Неустраняемыми недостатками таких ИСИ являются, в частности, низкая энергоэффективность, вызванная низким КПД газоразрядных ксеноновых ламп, расположением их за пределами термовакuumной камеры, высокими потерями в сложной оптической системе, а также сложность настройки большого количества оптических элементов, малый ресурс и высокая стоимость газоразрядных ксеноновых ламп.

Предложен перспективный ИСИ с более высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, основанный на иных технических решениях, компактный световой источник которого расположен внутри термовакuumной камеры. Наиболее рационально исполнение светового источника в виде матрицы из множества равномерно распределенных излучающих точечных элементов с простыми оптическими системами, формирующими узкоугольные световые распределения, которые, в свою очередь, суммируются непосредственно на освещаемой площади – объекте испытаний.

Размещение газоразрядных ксеноновых ламп в термовакuumной камере по ряду причин трудновыполнимо. В то же время последние разработки высокоэффективных светодиодов позволяют успешно использовать их в условиях ТВИ для имитации солнечного излучения в видимой области совместно с лампами накаливания в преимущественно инфракрасной области солнечного спектра.

При этом наибольший интерес представляют интегральные светодиодные сборки с высокоэффективными светодиодами различных длин волн, совместное излучение которых образует непрерывный спектр в заданной области, а малые размеры излучающей поверхности позволяют рассматривать такую сборку при расчете оптической системы в первом приближении как точечный источник.

Авторами проведено математическое моделирование светового источника ИСИ с использованием измеренных в нормальных условиях световых характеристик интегральной светодиодной сборки высокой мощности OSRAM LZ7-04M2PD и различных галогенных ламп накаливания. Результаты подтверждают принципиальную возможность применения последних разработок высокоэффективных светодиодов в комбинированном ИСИ в качестве точечных источников видимой области солнечного спектра. При этом для достижения приемлемого спектрального соответствия комбинированного ИСИ число различных длин

волн светодиодов в сборках, применяемых совместно с галогенными лампами накаливания, должно быть не менее шести.

A perspective solar simulator for thermal vacuum testing of spacecraft

¹Shevchuk A. A., ¹Pastushenko O.V., ²Dvirniy G.V.

¹JSC "ISS", Zheleznogorsk, Russia

²Reshetnev University, Krasnoyarsk, Russia

The overwhelming majority of large-sized solar simulators used in thermal vacuum testing of spacecraft are based on gas-discharge xenon lamps. The unavoidable disadvantages of such solar simulators are, in particular, low energy efficiency caused by the low efficiency of gas-discharge xenon lamps, their location outside the thermal vacuum chamber and high losses in complicated optical system, as well as the difficulty of tuning a large number of optical elements, a small resource of gas-discharge xenon lamps and their high cost.

We propose a perspective solar simulator with higher technical and operational characteristics, based on other technical solutions, a compact light source of which is located inside a thermal vacuum chamber. The most rational design of the light source is in the form of a matrix of many uniformly distributed emitting point elements with simple optical systems that form narrow-angle light distributions, which, in turn, are summed up directly on the test object illuminated area.

The placement of gas-discharge xenon lamps in a thermal vacuum chamber is difficult for a number of reasons. At the same time, the latest developments of highly efficient LEDs make it possible to successfully use them under thermal vacuum testing conditions to simulate solar radiation in the visible area together with tungsten lamps in the predominantly infrared area of the solar spectrum.

In this case, integral LED assemblies with highly efficient LEDs of various wavelengths, the combined emission of which form a continuous spectrum in a given area, are of the greatest interest. Small dimensions of the emitting surface make it possible to consider such an assembly when calculating the optical system in the first approximation as a point source.

The authors carried out mathematical modeling of solar simulator light source using the light characteristics of an OSRAM LZ7-04M2PD high-power integrated LED assembly and various halogen tungsten lamps measured under normal conditions. The results confirm the fundamental possibility of using the latest developments of high-efficiency light-emitting diodes in the combined solar simulator as point sources of the visible region of the solar spectrum. At the same time, in order to achieve an acceptable spectral accuracy of the combined solar simulator, the number of different wavelengths of LEDs in assemblies used in conjunction with halogen tungsten lamps should be at least six.

Результаты экспериментальных исследований влияния вращающегося магнитного поля на характеристики магнитожидкостного гидротрансформатора в составе трансмиссии подвижного агрегата наземного комплекса

Ющук Р.В.

МАДИ, г. Москва, Россия

В настоящее время гидродинамические передачи, в том числе гидротрансформаторы (ГДТ), находят широкое применение в промышленности.

Объектом исследования является управляемый вращающимся магнитным полем магнитожидкостный гидротрансформатор.

Цель работы – исследование влияния магнитного поля на внешнюю характеристику магнитожидкостного гидротрансформатора с использованием в качестве рабочего тела жидкости с магнитными свойствами.

Метод исследования – экспериментальный. В качестве рабочего тела применена жидкость с магнитными свойствами.

Полученные результаты показали, что с увеличением напряженности создаваемого вокруг ГДТ вращающегося магнитного поля увеличивается вязкость рабочего тела, что в свою очередь влияет на показатели работы ГДТ.

При изучении релаксационных процессов магнитной жидкости, было установлено, что максимально наглядный результат достигается при повышении температуры и рассматриваются образцы только с максимальной концентрацией частиц.

По полученным зависимостям можно сделать вывод, что при увеличении температуры от 100К до 300К происходит уменьшение времени релаксации. Следовательно, можно утверждать, что при понижении температуры происходит переход от одного вида релаксации к другому. Так при температурах от 150К и выше, при концентрации частиц магнетита 25% наблюдается Броуновская релаксация, а при температурах от 100К и выше наблюдается Неелевская релаксация.

Снижение передаваемого момента находится в пределах от 9,2 до 2,0%, увеличение коэффициента трансформации – от 10,3 до 12,6% и увеличение коэффициента полезного действия – от 4,0 до 6,3%.

В результате выполненных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1) Релаксация магнитной жидкости происходит не одновременно с отключением магнитного поля и происходит по определенным закономерностям, существенно и неоднозначно влияет на характеристики ГДТ.

2) Намагниченность насыщения магнитной жидкости с различными несущими жидкостями зависит от типа несущей жидкости, в основном от ее плотности и концентрации частиц магнетита.

3) Начатые исследования целесообразно продолжить в направлениях разработки уточненной методики расчета показателей качества ГДТ при изменении характеристик и дальнейшего изучения свойств магнитных жидкостей и способов их применения.

Results of experimental studies of the effect of a rotating magnetic field on the characteristics of a magnetofluidic torque Converter in the transmission of a mobile unit of a ground-based complex

Yushchuk R.V.

MADI, Moscow, Russia

Currently, hydrodynamic transmissions, including torque converters (TC), are widely used in industry.

The object of research is a magnetofluidic torque Converter controlled by a rotating magnetic field.

The purpose of this work is to study the influence of the magnetic field on the external characteristic of a magnetofluidic torque Converter using a liquid with magnetic properties as a working fluid.

The research method is experimental. A liquid with magnetic properties is used as the working fluid.

The results showed that with increasing intensity of the rotating magnetic field created around the TC, the viscosity of the working fluid increases, which in turn affects the performance of the TC.

When studying the relaxation processes of a magnetic fluid, it was found that the most visible result is achieved when the temperature increases and samples with the maximum concentration of particles are considered only.

Based on the obtained dependences, we can conclude that when the temperature increases from 100K to 300K, the relaxation time decreases. Therefore, it can be argued that when the temperature decreases, there is a transition from one type of relaxation to another. So at temperatures from 150K and above, at a concentration of magnetite particles of 25%, Brownian relaxation is observed, and at temperatures from 100K and above, non-Nobel relaxation is observed.

The reduction of the transmitted torque is in the range from 9.2 to 2.0%, the increase in the transformation coefficient is from 10.3 to 12.6%, and the increase in the efficiency is from 4.0 to 6.3%.

As a result of the research, the following main conclusions can be drawn:

1) the relaxation of the magnetic fluid does not occur simultaneously with the disconnection of the magnetic field and occurs according to certain laws, significantly and ambiguously affects the characteristics of the TC;

2) the saturation Magnetization of a magnetic fluid with various carrier fluids depends on the type of carrier fluid, mainly on its density and the concentration of magnetite particle;

3) it is advisable to continue the research in the direction of developing a refined methodology for calculating the quality indicators of TC when changing characteristics and further studying the properties of magnetic fluids and methods of their application.

6. Робототехника, интеллектуальные системы и авиационное вооружение

6. Robotics, Intelligent Systems and Aircraft Armament

Моделирование предохранительного клапана прямого действия с использованием SimInTech

Беклемищев Ф.С., Панфилов А.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Предохранительные клапаны используются в гидравлических и пневматических системах для ограничения величины давления до заранее определенного значения. Как правило, они устанавливаются в напорную линию параллельно. При достижении давления настройки (наибольшего избыточного давления на входе в клапан) предохранительный клапан открывается и пропускает поток или его часть из напорной линии в сливную.

В данной работе рассматривается предохранительный клапан прямого действия золотникового типа, в котором на запорно-регулирующий элемент с одной стороны действует усилие пружины, а с противоположной – сила давления жидкости. В исходном состоянии золотник, который размещен в корпусе клапана, перекрывает каналы в напорной и сливной линии. Перемещение золотника для открытия канала происходит при величине силы давления большей, чем усилие от силовой пружины. В тех случаях, когда работа клапана сопровождается большими расходами и высокими давлениями, размеры силовой пружины должны быть большими.

Клапаны прямого действия склонны к автоколебаниям. Для снижения этих явлений используется устройство демпфирования. Наиболее распространенным является демпфирующий поршень, который жестко связан с запорно-демпфирующим элементом. Для демпфирования в поршне продельвается узкий канал или снимается лыска. При перемещении поршня жидкость движется в малом зазоре, в тоже время на поршень действует демпфирующее усилие, направленное противоположно движению поршня.

При выполнении моделирования в SimInTech динамическое поведение клапана учитывает математические соотношения, определяющие площади запорно-регулирующего элемента, его движение, величины расходов и демпфирующего усилия. Полученные результаты моделирования были использованы для получения статических и динамических характеристик предохранительного клапана, а также для оценки влияния размера канала на интеграл от взвешенной по времени абсолютной величины ошибки.

Simulation of a direct-operated relief valve using SimInTech

Beklemishchev F.S., Panfilov A.S.
MAI, Moscow, Russia

Relief valves are used in hydraulic and pneumatic systems to limit the pressure to a predetermined value. They are usually installed in parallel in the discharge line. When the setting pressure (the highest excess pressure at the valve inlet) is reached, the safety valve opens and allows the flow or part of it from the pressure line to the drain line.

In this paper, a direct-operated relief valve of the spool type is considered, in which the spring force acts on the shut-off-regulating element on one side, and the fluid pressure force on the opposite side. In the initial state, the spool, which is located in the valve body, closes the channels in the pressure and drain lines. The movement of the spool to open the channel occurs when the value of the pressure force is greater than the force from the power spring. In cases where the operation of the valve is accompanied by high flow rates and high pressures, the size of the power spring must be large.

Direct acting valves are prone to self-oscillation. A damping device is used to reduce these phenomena. The most common is the damping piston, which is rigidly connected to the shut-off and damping element. For damping, a narrow channel is made in the piston or a flat is removed. When the piston moves, the liquid moves in a small gap, at the same time a damping force acts on the piston, directed opposite to the movement of the piston.

When simulating in SimInTech, the dynamic behavior of the valve takes into account the mathematical relationships that determine the areas of the shut-off and control element, its movement, flow rates and damping forces. The obtained simulation results were used to obtain the static and dynamic characteristics of the relief valve, as well as to assess the effect of channel size on the integral of the time-weighted absolute value of the error.

Необходимые пути развития подхода к анализу общих причин отказов при проектировании комплекса бортового оборудования

Береуцкая О.Д., Савельев А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Безопасность является основным приоритетом при разработке и эксплуатации воздушных судов гражданского назначения. Сам термин «безопасность» определяется как состояние, в котором риск приемлем. Риски (или опасности) являются следствием возникновения отказов или неисправностей и классифицируются по критичности последствий. Наиболее существенными последствиями являются Катастрофическая и Аварийная ситуации (КС и АС), для которых помимо количественных требований принят качественный критерий «No single failure» – данные ситуации не должны возникать в следствие единичных отказов или отказов по общей причине.

В случае обнаружения общих причин отказа, компоненты не могут считаться независимыми, а произведение их вероятностей не может использоваться для определения вероятности наступления события более высокого уровня (например вероятности потери функции, выполнение которой обеспечивают анализируемые компоненты). Современные подходы к оценке безопасности, описанные в ARP 4761, предусматривают выполнение качественного анализа общих причин и заключаются в трех вида анализа: зонный анализ безопасности, анализ специфических рисков, анализ общего режима.

Зонный анализ в рамках данной работы не исследуется.

При анализе специфических рисков в настоящее время используется качественная оценка возникновения последствий их влияния. Часть данной работы посвящена разработке количественного методологии в том числе для применения при выполнении такого анализа.

Для анализа общего режима в нормативной документации предложен пример контрольного перечня возможных источников отказа, но отсутствует детальное описание критериев его разработки, а также процедур его последующего использования при выполнении анализа. В развитие качественного метода анализа предлагается дополнение данного контрольного перечня опросным «чек-листом», детализирующим возможные варианты наличия и влияния источников общего режима отказов, а также содержащим требования, которые должны предъявляться к анализируемым компонентам при наличии таких источников.

Основой развития методологии количественного анализа является принцип условной вероятности, позволяющий выработать и применять математическую модель зависимости вероятности отказа двух и более компонентов бортового оборудования от вероятности возникновения общей причины их отказа для получения точных значений уровня независимости и устранения субъективизма при принятии решения о наличии независимости, который имеет место при выполнении качественного анализа.

Necessary ways to improve Common Cause Analysis approach for application during avionics design process

Bersutskaya O.D., Savelev A.S.

MAI, Moscow, Russia

Safety is the most important aspect that should be considered during development and operation of civil aircrafts. "Safety" term is defined as the state in which risk is acceptable. Risks (or hazards) are consequences of failures or malfunctions and they are classified using failure effects criticality. The most critical are Catastrophic and Hazardous effects for which, in addition to quantitative requirements, the qualitative criterion "No single failure" should be applied - these effects should not be caused by single failures or common cause failures.

If common causes are identified, analyzed items could not be considered as independent and their probabilities could not be multiplied to define higher level probability (e.g. probability of loss of function which analyzed items contribute to). Current approaches to safety assessment, which are described in ARP 4761, propose to perform qualitative common cause analysis that includes three types: Zonal Safety Analysis, Particular Risks Analysis and Common Mode Analysis.

Zonal Safety Analysis is not considered in this article.

Particular Risks Analysis currently uses qualitative assessment for risks effects. Part of this article is dedicated to elaboration of quantitative methodology, that could be applied for PRA implementation.

Current safety assessment guidance proposes example of list with possible common cause failures sources, but there is no detailed description of criteria for development of such list as well as detailed procedures to apply for implementation of Common Mode Analysis. It is suggested to improve analysis methodology by adding of checklist that contains detailed description of possible common cause failures sources and effects together with requirements that should be identified for items under analysis is case of existence of such sources.

Quantitative methodology improvement basis is conditional probability principle, that allows to elaborate and apply mathematical model of the dependence between probability of two or more onboard equipment components failure and the probability of common cause in order to obtain accurate values of independence level and eliminate subjectivity when deciding on independence existence, that occurs during qualitative analysis implementation.

Анализ латентного пространства предобученных глубоких свёрточных нейронных сетей в задаче автоматической сегментации цветных изображений

¹Галкин В.А., ²Таргамдзе Д.С., ¹Макаренко А.В.

¹ИПУ РАН, ²МАИ, г. Москва, Россия

Задача автоматической сегментации цветных изображений является весьма востребованной в различных народно-хозяйственных и оборонных приложениях. Она тесно связана с другими задачами, такими как: обнаружение, распознавание, идентификация и диагностика наблюдаемых объектов. Особый интерес вызывает решение проблемы при условии высокого уровня шумов, наличия маскированных (слабонаблюдаемых) и/или перекрывающихся в поле зрения объектов. В последнее время для решения подобного класса задач, как правило, применяют глубокие нейронные сети, функционирующие при широких вариациях фоно-целевой и помеховой обстановки. В настоящей работе проводится первичное исследование структуры латентного пространства предобученных нейросетей с целью поиска более эффективных архитектур и стратегий их обучения.

С целью формирования контролируемой среды был сгенерирован синтетический датасет из цветных RGB-изображений размером 64x64 пикселя. На каждом изображении были помещены три прямоугольника, размеры которых и координаты центра являются псевдослучайными величинами, имеющими равномерное распределение. При этом цвет каждого из пикселей прямоугольников также принимал псевдослучайные значения с равномерным распределением из неперекрывающихся диапазонов по каждой из RGB-компонент. Прямоугольники помещались на чёрный фон. Синтезированный датасет был подвергнут статистическому разведочному анализу. Исследованию подвергались три

свёрточные нейросети: N1 – классический автоэнкодер, N2 – U-net подобная нейросеть с регулярными свёртками, N3 – U-net подобная нейросеть с separable свёртками (заметно, что эти фильтры обладают большей обобщающей способностью). Нейросети были реализованы в среде фреймворка Keras в. 2.2.4. Из средних слоёв сетей были организованы дополнительные выходы (применялись как источники данных о сформированных в нейросетях латентных пространствах). В числе изученных вопросов – анализ сепарабельности латентного пространства предобученных трёх сетей (применялись проективные преобразования UMAP, PCA и однослойный перцептрон). Среди прочего установлено, что при решении задачи сегментации цветных изображений, нейросети в первую очередь реагируют на текстовое заполнение выделяемых объектов (связных кластеров пикселей).

Analysis of the latent space of pre-trained deep convolution neural networks in the task of automatic segmentation of color images

¹Galkin V.A., ²Targamadze D.S., ¹Makarenko A.V.

¹ICS RAS, ²MAI, Moscow, Russia

The task of automatic segmentation of color images is considered to be highly demanded in various national economic and defense applications. It is closely related to other tasks such as detection, recognition, identification and diagnostics of observed objects. Of particular interest is the solution of the problem under the condition of noise, the presence of masked (weakly observed) and/or overlapping objects in the field of view. Recently, to solve such a class of problems deep neural networks are used, which function under wide variations of background target and interference environment. In this paper preliminary investigation of the structure of the latent space of pre-trained neural networks is conducted with the purpose of searching more effective architectures and strategies for their learning. For the purpose of forming a controlled environment, synthetic dataset from 64x64 pixel color RGB images was generated. On each image, three rectangles were placed, the dimensions of which and the coordinates of the center are equally probable distribution. Herewith, the colour of each pixel of rectangles also took the pseudorandom values with equally probable distribution from non-overlapping for each of the RGB components. The rectangles were placed on a black background. The synthesized dataset was subjected to statistical exploratory analysis. Three convolutional neural networks were studied: N1 – classic autoencoder, N2 – U-net like neural network with regular convolutions, N3 – U-net like neural network with separable convolutions (it should be noted that these filters possess greater generalization performance). Neural networks were implemented in the environment of the framework Keras in 2.2.4. Auxiliary outputs were organized from the middle layers of networks (used as data sources on latent spaces, formed in neural networks). Among the issues studied was the analysis of latent space separability of three pre-trained networks (transformations UMAP, PCA and single-layer perceptron were used). Among other things, it was found that when solving the task of segmentation of color images, neural networks primarily respond to the texture filling of the selected objects (connected clusters of pixels).

Концепция проектирования адаптивного автопилота высокоскоростного сверхманевренного беспилотного летательного аппарата

¹Голдовский А.А., ²Походенко М.В., ¹Правдило М.Н.

¹ГосМКБ «Вымпел», ²МАИ, г. Москва, Россия

Рассмотрение диапазонов режимов полёта самолётов-носителей предъявляет повышенные требования к возможностям автопилота высокоскоростных высокоманевренных БПЛА воздушного базирования. К таким требованиям, в частности, относятся: парирование высокого аэродинамического возмущения, как правило, генерируемого самолётносителем на стартовом участке полёта БПЛА, высокое быстродействие и адаптация к постоянно изменяющимся воздействующим факторам, априорная информация которых отсутствует или недостоверна. Поэтому задача разработки программно-математического аппарата для проектирования автопилота как самонастраиваемой адаптивной системы является весьма актуальной задачей в современных реалиях.

В настоящее время классическое построение математической модели автопилота подразумевает его предварительную настройку по априорной информации, что накладывает ограничения на зону возможного применения беспилотного летательного аппарата, а также задаёт высокие требования к точности исходных данных. В качестве альтернативы стандартной модели автопилота предлагается рассматривать модель адаптивного автопилота, задачей которого является автоматическая настройка его параметров в процессе полёта.

На сегодняшний день не существует единой концепции проектирования адаптивного автопилота. В связи с высоким ростом быстродействия вычислительных систем, становится возможным применение подходов, требующих существенных аппаратных мощностей, в частности алгоритмов машинного обучения. Данные алгоритмы могут позволить создать «идеальный» автопилот, то есть такой автопилот, который сможет не только делать предсказания возможных нагрузок на летательный аппарат в режиме реального времени, но и своевременно их парировать. Для разработки такого автопилота используется синтез из уже известных методов – таких как: алгоритмы оптимального управления, настройка по типовым законам движения, машинное обучение и т.д. Такой подход позволяет компенсировать недостатки классической модели построения автопилота и приблизиться к созданию интеллектуальных систем управления и навигации.

Design concept of adaptive autopilot of high-speed super-maneuverable unmanned aerial vehicle

¹Goldovskiy A.A., ²Pokhodenko M.V., ¹Pravidlo M.N.

¹МКБ “Vypel”, ²МАИ, Moscow, Russia

Consideration of the ranges of flight modes of carrier aircraft makes increased demands on the autopilot capabilities of high-speed, highly maneuverable airborne UAVs. Such requirements, in particular, include: parrying high aerodynamic disturbances, as a rule, generated by the carrier aircraft at the launch site of the UAV flight, high speed and adaptation to constantly changing influencing factors, the a priori information of which is absent or unreliable. Therefore, the task of developing a software and mathematical apparatus for designing an autopilot as a self-adjusting adaptive system is a very urgent task in modern realities.

At present, the classical construction of a mathematical model of an autopilot implies its preliminary adjustment based on a priori information, which imposes restrictions on the area of possible use of an unmanned aerial vehicle, and also sets high requirements for the accuracy of the initial data. As an alternative to the standard autopilot model, it is proposed to consider the adaptive autopilot model, whose task is to automatically adjust its parameters during the flight.

To date, there is no single concept for designing an adaptive autopilot. Due to the high growth in the speed of computing systems, it becomes possible to use approaches that require significant hardware power, in particular, machine learning algorithms. These algorithms can make it possible to create an “ideal” autopilot, that is, an autopilot that can not only make predictions of possible loads on the aircraft in real time, but also fend them off in time. To develop such an autopilot, a synthesis from already known methods is used, such as: optimal control algorithms, tuning according to typical laws of motion, machine learning, etc. This approach makes it possible to compensate for the shortcomings of the classical model of building an autopilot and get closer to the creation of intelligent control and navigation systems.

Обслуживание потока заявок при наблюдении наземных объектов летательными аппаратами в режиме «воздушного такси»

Гончаренко В.И., Лебедев А.В., Михайлин Д.А., Румакина А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе решается задача организации маршрутного группового полета летательных аппаратов (ЛА), когда предполетное планирование проводится лишь для начала группового полета, а затем проводится оперативное планирование в самом полете, по аналогии с наземным такси. Особенность решаемой задачи состоит в обеспечении требуемой

оперативности планирования в ходе полета авиационной группировки с учетом безопасности перелетов при пересечении маршрутов.

В результате решения задачи требуется:

- Обосновать подход к решению задачи целераспределения свободных от обслуживания ЛА между поступающими заявками с учетом всех рассматриваемых факторов и ограничений.

- Оценить эффективность выбранного подхода путем его сравнения с известными подходами, основанными на однокритериальных алгоритмах диспетчеризации групповых действий.

В данной работе предложен более совершенный минимаксный критерий диспетчеризации.

При решении задачи обслуживания наземных объектов с помощью группы ЛА наряду с выбором наиболее эффективного алгоритма диспетчеризации важное место также занимает назначение требуемого числа ЛА. Так, в пилотируемой авиации в отсутствие регулярного расписания прилетов и вылетов, но при известном потоке заявок со средней скоростью λ , необходимо выбрать такое число N , чтобы обеспечить оптимальное сочетание экономичности и быстрейшего выполнения нужного множества рейсов. В беспилотной авиации также требуется определить оптимальное число ЛА с учетом спроса на очередные наблюдения наземных объектов, возникающего при обновлении информации. Решение этой задачи предложено с помощью теории массового обслуживания, согласно которой рассматриваемая система относится к классу многоканальных систем массового обслуживания с ожиданием.

Таким образом, с помощью предложенного критерия эффективности групповых действий ЛА поставлена задача параметрической оптимизации при выборе числа летательных аппаратов, обеспечивающего приемлемые расходы топлива и скорость обслуживания потока заявок.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-08-00652 а.

Serving of the flow of applications when observing ground objects by aircraft in the "air taxi" mode

Goncharenko V.I., Lebedev A.V., Mikhailin D.A., Rumakina A.V.
MAI, Moscow, Russia

This work solves the problem of a route group flight of aircraft (AC), when pre-flight planning is carried out only for the beginning of a group flight, and then new requests for service are received already in flight, by analogy with a land taxi. The peculiarity of the problem being solved is to ensure the required planning efficiency during the flight of the aviation group, taking into account the safety of flights when routes do not cross.

As a result of solving the problem, it is required:

- Choose the necessary approach to solving the problem of target allocation of aircraft free from servicing between incoming requests, taking into account all the listed factors and restrictions.

- To evaluate the effectiveness of the chosen approach by comparing it with the well-known single-criterion algorithms for dispatching group actions.

In this paper, we propose a more perfect minimax scheduling criterion based on a combination of not one, but three sequentially performed operations.

When solving the problem of servicing ground objects using a group of aircraft, along with the choice of the most efficient scheduling algorithm, the assignment of the required number of aircraft also occupies an important place. So, in manned aviation, in the absence of a regular schedule of arrivals and departures, but with a known flow of requests with an average speed λ , it is sometimes necessary to choose such a number N in order to ensure the optimal combination of efficiency and performance of the required set of flights. In unmanned aviation, it is also required to determine the optimal number of aircraft, taking into account the demand for regular observations of ground objects that arises when updating video information. The solution to this problem was proposed

using the queuing theory, according to which the considered system belongs to the class of multichannel queuing systems with waiting.

Thus, using the proposed criterion for the effectiveness of group actions of aircraft, the problem of parametric optimization is posed when choosing the number of aircraft that provides acceptable fuel consumption and the rate of service of the flow of requests.

The research was funded by RFBR according to the project No. 20-08-00652 a.

Программный комплекс для исследования способов управления двухфазным вентильным двигателем на уровне секций фазной обмотки

Дунич Е.А., Кривилёв А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время, благодаря появлению новой элементной базы, возрастает область применения вентильных двигателей, и увеличивается количество возможных вариантов их конструкции и способов управления. Характеристики двигателя зависят от их выбора, и для его обоснования при проектировании приводов необходимо сформировать полное множество возможных способов управления и иметь соответствующие им данные о статических и динамических характеристиках.

Эти вопросы хорошо изучены в случае трёхфазных двигателей с неразделёнными фазными обмотками. Однако в случае двухфазных двигателей с двухсекционными обмотками (ДВД) они остаются неисследованными, и данные о влиянии способов управления на статические характеристики и к. п. д. них отсутствуют.

В настоящей работе предлагается программный комплекс на основе компьютерной модели двухфазного двигателя с двухсекционными обмотками, предназначенный для исследования физических процессов в системе «усилитель мощности – двигатель» на уровне секций фазной обмотки.

Он состоит из двух независимых частей: для построения временных диаграмм и статических характеристик. Первая часть позволяет наблюдать временные диаграммы цифровых сигналы, напряжения, токи и противо-ЭДС каждой секции, тока источника питания электромагнитного момента, а также получать и сравнивать переходные процессы по скорости для различных схем соединения секций и способов управления. Вторая – механические, регулировочные и энергетические характеристики двигателя, включая к. п. д. Расчёт ведётся по единой схеме замещения якоря, системе обозначений секций и фаз. При необходимости может быть изменено количество фаз и секций или схема их соединения.

Определено, что среди значений скорости холостого хода наибольшие достигаются при несоединённых секциях и параллельном их соединении, наименьшие при лучевом (в «звезду») и последовательном, промежуточные – при замкнутом (в «квадрат»). В пределах каждой схемы они различаются в зависимости от задействования секций.

Работа двигателя при различных схемах соединения, дающих одинаковые значения пускового момента, кардинально отличается. Так, большие значения к. п. д. (порядка 85%) наблюдаются при несоединённых, последовательных и параллельных секциях, малые (порядка 20%) – при лучевом с общей точкой.

Программный комплекс позволит разработчикам приводов получить исчерпывающую информацию, необходимую для выбора схемы соединения секций и способа подключения фаз при решении конкретных задач.

Program complex for researching of control techniques for two-phase brushless DC motor on the level of phase-winding sections

Dunich E.A., Krivilev A.V.

MAI, Moscow, Russia

Nowadays due to appearing of the new element base the using area of brushless DC motors grows and the number of possible variants of their construction and control techniques increases. Characteristics of a motor depend on selection of these parameters, and to ground it by projecting of servo systems it is necessary to form a full set of possible control techniques and to have data about static and dynamic characteristics corresponding to each of them.

These questions are goodly researched in relation to three-phase machines. However, in the case of two-phase ones they remain not researched, and the data about their influence on static and dynamic characteristics including the efficiency absent.

In this paper a program complex based on a computer model of the two-phase brushless DC motor with two-section phase windings dedicated to research physical processes in the system “power amplifier – motor” on the level of phase windings’ sections is proposed.

It consists in two independent parts: for the building of waveforms and static characteristics. The first one enables to watch waveforms of digital signals, voltage, currents and back-EMF values in each section, the power supply current and the electromagnetic torque, and also to obtain and compare transition processes of the speed for different section connection schemes and control techniques. The second one – mechanical end power characteristics including the efficiency.

The calculation is carried out on a unique equivalent circuit, section and phase labelling. If needed, the number of phases and sections or connection scheme can be changed.

It is determined that among free-running speed values the greatest can be achieved by unconnected and parallel section connection, the least by the radial ones (“star”), intermediate – by the closed (“square”). Within of a certain scheme the speeds vary depending on the sections’ participation.

The motor’s work by different connection schemes giving the same stall torque values differ cardinally. So, great efficiency values (about 85 %) can be seen by unconnected, serial and parallel sections, little (about 20 %) – by the radial with common point.

The program complex will enable servo system developers to obtain exhaustive information necessary to select section connection scheme and phase switching technique by solving certain problems.

Концепции построения системы мониторинга технического состояния авиационных управляемых ракет

Захаров И.В., Трубников А.А., Решетников Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время в ВКС РФ происходит перевооружение. В войска поступает новая авиационная техника пятого поколения, в том числе, готовятся к поставке перспективные управляемые авиационные ракеты класса «воздух-воздух» и «воздух-поверхность». Опыт современных локальных конфликтов показывает возрастающую роль управляемых авиационных ракет, они являются наиболее массовыми и наиболее сложными объектами авиационного вооружения.

Поставка современного вооружения в рамках гособоронзаказа в ВКС РФ предполагает повышение ответственности предприятий промышленности за качество выпускаемой продукции. Поскольку увеличение боевых возможностей авиации сопровождается существенным усложнением характера военно-профессиональной деятельности специалистов инженерной авиационной службы. Это сопровождается многократным увеличением обрабатываемой информации в действующей системе технической эксплуатации ракет и одновременным сокращением времени, отводимого на обработку информации и принятие решений специалистами по вооружению. Для повышения качества и эффективности технической эксплуатации ракет заказчиком предлагается поставка жизненного цикла авиационной техники и внедрение единого информационного пространства в контуре заказчик – разработчик – эксплуатант.

Одним из элементов единого информационного пространства поставки жизненного цикла авиационной техники является система мониторинга технического состояния парка ракет. Она представляет собой пространственно распределенную систему сложной иерархии программно-аппаратных средств на базе существующих и перспективных автоматизированных систем контроля, рабочих станций и серверов, объединенных в единую телекоммуникационную сеть.

Построение системы мониторинга предполагает реализацию ряда концепций - концепции сквозного моделирования процессов технической эксплуатации и боевого применения,

концепции осознанного наблюдения эволюции технического состояния парка ракет. Реализация указанных концепций основана на использовании систем управления базами данных, моделей объектов контроля и моделей деградации технического состояния ракет.

Concepts for building a system for monitoring the technical condition of aircraft guided missiles

Zakharov I.V., Trubnikov A.A., Reshetnikov D.A.
MAI, Moscow, Russia

Currently, the Russian aerospace forces are being re-equipped. The troops are receiving new fifth-generation aviation equipment, including advanced guided air-to-air and air-to-surface missiles. The experience of modern local conflicts shows the increasing role of guided aircraft missiles, they are the most massive and most complex objects of aviation weapons.

The delivery of modern weapons under the state defense order to the Russian aerospace forces involves increasing the responsibility of industrial enterprises for the quality of their products. Since the increase in the combat capabilities of aviation is accompanied by a significant complication of the nature of military professional activities of specialists in the aviation engineering service. This is accompanied by a multiple increase in the processed information in the current system of technical operation of missiles and a simultaneous reduction in the time allotted for information processing and decision-making by weapons specialists. To improve the quality and efficiency of technical operation of missiles, the customer offers to supply the life cycle of aviation equipment and implement a single information space in the customer – developer – operator circuit.

One of the elements of the unified information space for the delivery of the life cycle of aviation equipment is the system for monitoring the technical condition of the rocket fleet. It is a spatially distributed system of a complex hierarchy of software and hardware based on existing and future automated control systems, workstations and servers United in a single telecommunications network.

Building a monitoring system involves the implementation of a number of concepts - the concept of end-to-end modeling of technical operation and combat use, the concept of conscious observation of the evolution of the technical state of the missile fleet. The implementation of these concepts is based on the use of database management systems and models of degradation of the technical condition of missiles.

Исследование структуры механического взаимодействия БПЛА и мобильной полезной нагрузки, при воздействии реальных факторов

Кимяев А.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Имеется конструкция: оптический прибор (ОП), смонтированный на беспилотном летательном аппарате (БЛА) вертолётного типа. Во время полёта БЛА изменяет угол своего положения в пространстве для движения. Система управления (СУ) привода ОП, согласно задаче сопровождения, производит наведения оси ОП на сопровождаемую цель. Одной из проблем такой системы является несовпадение центра масс (ЦМ) и центра вращения (ЦВ) ОП, что создаёт дополнительный момент, зависящий от угловых скоростей составных элементов системы. Из-за этой особенности СУ привода ОП должна учитывать это влияние.

Для исследования сил и моментов, действующих на составные элементы системы, создана упрощённая кинематическая схема в вертикальной плоскости, на которой отображены:

• Геометрические параметры несовпадения ЦМ ЦВ ОП, размещения относительно ЦМ и ЦВ БЛА.

- Сила тяжести mg .
- Относительные углы поворота ОП и БЛА.
- Углы поворота БЛА и ОП относительно вертикали.

Для вывода дифференциального уравнения движения, рассматриваемой механической системы, пользуемся уравнением Лагранжа 2-го рода относительно независимой скорости и независимого относительного угла ОП относительно БЛА. Выражаются абсолютные и

относительные скорости ОП, моменты инерции компонентов, кинетическая энергия механической системы и силовая функция.

В динамическом уравнении, полученным из уравнения Лагранжа 2-го рода, выделены основные источники возмущений:

- Активный момент, вызванный дисбалансом.
- Переменная составляющая момента инерции, зависящая от положения ОП относительно вертикали.
- Гироскопический эффект.
- Центробежный эффект.

Эти связи применены между двумя замкнутыми системами, моделирующими полёт БЛА и наведение ОП. Моделирование показало негативный эффект, при движении ОП, отражающийся на полёте БЛА и, как следствие на точности сопровождения. Негативный эффект тем выше чем:

- Больше расстояние между ЦМ и ЦВ ОП.
- Больше масса ОП.
- Выше скорость движения ОП.

Для улучшения качества работы системы, состоящей из БЛА и подвижной полезной нагрузки, рекомендуется снижать вышеописанные факторы или применять коррекцию в СУ.

Research of the mechanical interaction structure between UAV and the mobile payload, under the influence of real factors

Kimyaev A.I.

MAI, Moscow, Russia

There is construction: optical device (OD) mounted on a helicopter-type unmanned aerial vehicle (UAV). During the flight, the UAV changes the angle of its position in space for movement. The control system (CS) of the OD drive, according to the tracking task, guides the OD axis to the tracked target. One of the problem of the system is the mismatch between the center of mass (CM) and the center of rotation (CV) of the OD, which creates an additional moment that depends from the angular velocities of the components of the system. Because of this feature, the control system of the OD drive must take into account this influence.

Created a simplified kinematic scheme in the vertical plane to study the forces and moments acting on the components of the system. On scheme displayed:

- Geometrical parameters of non-coincidence of the CM of the CV of the OD, placement relative to the CM and CV of the UAV.
- Gravity force mg .
- Relative angles of rotation of OD and UAV.
- Angles of rotation of UAV and OD relative to the vertical.

To derive the differential equation of motion for the considered mechanical system, we use the Lagrange equation of Second Kind with respect to the independent speed and the independent relative angle of the OD relative to the UAV. After was expressed the absolute and relative speeds of the OD, the moments of inertia of the components, the kinetic energy of the mechanical system and the force function.

In the dynamic equation obtained from the Lagrange equation of Second Kind, identified the main sources of disturbances:

- Active moment caused by imbalance.
- Variable component of the moment of inertia, depending on the position of the OD relative to the vertical.
- Gyroscopic effect.
- Centrifugal effect.

These connections applied between two feedback systems that simulate the UAV flight and the targeting of the OD. Simulation has shown a negative effect when the OD moves, which is disturbed the UAV flight and, as a consequence, on the tracking accuracy. The negative effect is the higher than:

- Higher distance between CM and CV of the OD.
- More mass of the OD.
- Higher speed of OD movement.

To improve the performance of a system consisting of a UAV and a mobile payload, recommended reduce the above factors or use correction in CS.

Перспективы прикладного применения технологий дополненной и виртуальной реальности в процессы проектирования, производства, эксплуатации воздушного судна и обучение авиационного персонала

Неретин Е.С., Колокольников Ф.А., Митрофанов С.Ю.
МАИ, г. Москва, Россия

Сотрудниками кафедры 703 МАИ совместно с сотрудниками отделения 741.170 Конструкторского бюро Инженерного центра им. А.С. Яковлева ПАО «Корпорация «Иркут» проведена работа по анализу возможности внедрения современных инновационных технологий дополненной и виртуальной реальности в процессы проектирования, производства, эксплуатации воздушных судов (ВС) и обучения авиационного персонала (АП). В процессе работы была произведена разработка прототипов двух стендов виртуальной реальности. Первый служит для проведения эргономической оценки кабины самолета по ее виртуальному представлению. Второй предназначен для наглядного представления проектных данных за счет демонстрации трехмерной геометрии одному или нескольким пользователям (сетевой режим) в реальном масштабе изделия.

В рамках демонстрации возможностей технологии дополненной реальности для решения задач эксплуатации ВС и обучения АП произведена разработка двух мобильных приложений. Первое иллюстрирует возможность быстрого доступа к технической карте агрегата и видео с типовыми операциями (монтаж, демонтаж, тестирование) при наведении камеры мобильного устройства на выбранный агрегат на реальном ВС. Второе производит демонстрацию трехмерного представления агрегата при наведении камеры мобильного устройства на конкретную техническую карту.

Апробация представленных разработок была проведена в МАИ и ПАО «Корпорация «Иркут». Представленные прототипы получили высшую оценку научно-технического совета ПАО «Корпорация «Иркут», а заинтересованность внедрения подобных решений в свои производственные процессы подтвердили производители авиационных тренажеров (ООО НПФ «СКТ» в лице главного конструктора), высшие учебные заведения (МГТУ ГА в лице Проректора по НРиИ), авиапроизводители (ПАО «Корпорация «Иркут» в лице заместителя начальника отдела методологии проектирования и обучения) и эксплуатанты ВС (ПАО «Аэрофлот» в лице Директора департамента подготовки авиационного персонала).

Opportunities for the application of augmented and virtual reality technologies in the process of design, production, aircraft operation and aviation personnel training

Neretin E.S., Kolokolnikov F.A., Mitrofanov S.Y.
MAI, Moscow, Russia

Employees of the Department 703 MAI together with employees of Department 741.170 Design Bureau Engineering center by A. S. Yakovlev PJSC "Corporation "Irkut" carried out work on the analysis of possibilities of introduction of modern innovative technologies of augmented and virtual reality in the design, production, operation of aircraft and training of aviation personnel. In the course of work, prototypes of two virtual reality stands were developed. The first one is used for conducting an ergonomic assessment of the aircraft cabin based on its virtual representation. The second one is intended for visual representation of design data by demonstrating three-dimensional geometry to one or several users (network mode) in the real size of the product.

As part of the demonstration of the capabilities of augmented reality technology for solving the problems of aircraft operation and aviation personnel training, two mobile applications were developed. The first one illustrates the possibility of quick access to the technical map of the unit and video with typical operations (installation, dismantling, testing) when the mobile device camera

is pointed at the selected unit on a real aircraft. The second one demonstrates a three-dimensional representation of the unit when the mobile device camera is pointed at a specific technical map.

Approbation of the presented projects were carried out in MAI and PJSC "Corporation "Irkut". The presented prototypes received the highest rating of the scientific and technical Council of PJSC "Corporation "Irkut", and the interest in implementing such solutions in their production processes was confirmed by manufacturers of aircraft simulators (LLC NPF "SKT" represented by the chief designer), higher educational institutions (MSTU GA represented by the Vice-Rector for research and development), aircraft manufacturers (PJSC "Corporation "Irkut" represented by the Deputy head of the design and training methodology Department) and aircraft operators (PJSC "Aeroflot" represented by the Director of the aviation personnel training Department).

Цельное знание как методологическая основа разработки систем искусственного интеллекта

Нетребская О.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Общесистемный, междисциплинарный подход – это необходимость, к которой подошли исследования в области искусственного интеллекта (ИИ) как при его определении, так и в проектировании систем ИИ. Важно определить философское направление, в рамках которого реализуются когнитивные функции «мышления машин». Познавательная деятельность интеллектуальных машин зависит от того, что понимается под категориями «интеллект», «сознание» или «общественное сознание машин». В российском контексте, в качестве мировоззренческой основы практической разработки систем ИИ и промышленного развития антропоцентрического ИИ уместна система понятий русской философии, таких как цельное знание.

Цельное знание – ведущая категория русской философии XIX в. – органический синтез различных видов познания как рационального, так и нерационального, следовательно, имеет не только теоретический характер, но отвечает всем потребностям духа (воле, разуму, чувству). Именно такое знание является наиболее полным и адекватным отражением действительности – истиной.

С другой стороны, в работах по исследованию и созданию ИИ необходимо учитывать, что сознание представляет собой некое единство и в познавательном процессе выступает как целостность: невозможно произвольно полностью отделить какое-либо его проявление, например: эмоциональную, рациональную и др. его составляющие.

В сфере чистого разума познающий субъект И. Канта предстаёт как исключительно «логическая функция» вне отношения к целостному сознанию.

При этом понимание Кантом сути человека как многогранного единства различных проявлений личности отражено в его работах, анализирующих рациональное, нравственное, ценностное и эстетическое сознание. Кант был автором идеи системности научного знания.

В настоящее время ИИ моделируется компьютерной программой. Концептуализация модели мышления, при этом осуществляется в форме логики. В известной степени, философы-логики со времён античности, закладывали основы ИИ, но лишь с возникновением электроники появилась возможность применения их работы в машинах.

В рамках междисциплинарного подхода, на основе системного исследования, очевидна возможность если не теоретического проектирования систем ИИ, то их полноценного эмпирического технического моделирования, осуществляемого аналогично моделированию интеллектуального взаимодействия человека с другими людьми. Такое моделирование может осуществляться как с имитацией «интеллекта», так и с использованием известных категорий: науки, философии и др.

Integral knowledge as methodologic foundation for design of Artificial Intelligence systems

Netrebskaya O.N.

MAI, Moscow, Russia

All-system, interdisciplinary approach is a necessity that research in the field of artificial intelligence (AI) has come both in its definition and in the design of AI systems. It is important to

determine the philosophical direction in which the cognitive functions of "machine thinking" are realised. The cognitive activity of intelligent machines depends on what is meant by the categories "intelligence", "consciousness" or "social consciousness of machines". In the Russian context, the system of concepts of Russian philosophy, such as integral knowledge, is relevant as a worldview basis for the practical development of anthropocentric AI.

Integral knowledge – is the leading category of Russian philosophy of the XIX century – organic synthesis of various types of knowledge, both rational and irrational, therefore, has not only a theoretical character, but must meet all the needs of the spirit (will, reason, feeling). Such knowledge is the most complete and adequate reflection of reality. On the other hand, in the research and creation of AI, it is necessary to take into account that the "spirit" is a kind of unity and acts as a whole in the cognitive process: it is impossible to completely separate any of its sides, for example: emotional, rational, or any other.

I. Kant made such attempt: in the sphere of pure reason, Kant's cognizing subject appears as an only "logical function" outside of relation to the whole consciousness.

I. Kant understood the essence of man as a multi-faceted unity of various manifestations of personality what is reflected in his works that analyze rational, moral, value and aesthetic consciousness. Kant was the author of the idea of systematic scientific knowledge.

Currently, AI is modeled by a computer program. Conceptualization of the thinking model is carried out in the form of logic. To a certain extent, logic philosophers have been laying the foundations of AI since antiquity, but it was only with the advent of electronics that it became possible to apply their work in machines.

Within the framework of an interdisciplinary approach, the full-fledged empirical technical modeling is carried out in a similar way to design the intellectual interaction of a person with other people. Such modeling can be carried out for machines both with the imitation of "intelligence", and with the use of well-known categories: science, philosophy, etc.

Ограничитель предельных режимов полёта маневренного самолёта: цели и задачи

Оболенский В.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Победа в современном воздушном бою во многом достигается за счёт преимущества в манёвренных характеристиках.

В продольном движении наиболее критичными являются предельные углы атаки и перегрузки, которые определяют боевые возможности современных маневренных истребителей. Анализ показывает, что летчики немедленно обнаруживают преимущества при реализации больших углов атаки и самолёт, обладающий этой особенностью, может выигрывать воздушный бой практически независимо от расположения его противника, даже в том случае, когда он находится в задней полусфере. Еще одним преимуществом реализации больших углов атаки является возможность эффективного аэродинамического торможения. Реализация предельных параметров связано с величиной коэффициента подъемной силы. Возможности самолёта в значительной степени зависят от поведения самолёта на предельных режимах полёта, где главным требованием является обеспечение безопасности. Для этого на критических режимах необходимо ограничивать предельные углы атаки и перегрузки. Существуют два подхода к решению данной задачи: механическое ограничение перемещение ручки управления или обеспечение ограничения с использованием специальных контуров управления. Первый способ был реализован в механической системе управления самолёта МиГ-29. При подходе текущего угла атаки с учётом упреждения к допустимым значениям, цилиндр-толкатель уводит ручку управления в сторону уменьшения текущего угла атаки. Такое релейное управление хорошо себя зарекомендовало, но имеет недостаток в виде «пилль», появляющейся при пилотировании на допустимом угле атаки. В цифровых системах управления был реализован следующий принцип – допустимый параметр соответствует максимальному рабочему ходу ручки управления. В данном случае использование статических алгоритмов управления, основанного на принципах изменения коэффициента передачи от органа управления и

рулевой поверхности при подходе к критическим параметрам, приводят к недопустимым характеристикам переходных процессов: перерегулированию и статическим ошибкам. Данная проблема была решена с помощью астатического контура ограничителя предельных режимов. Благодаря присутствию интеграла, статические ошибки отсутствуют, полный ход ручки соответствует полной располагаемой перегрузки и углу атаки. При необходимости превышения допустимого значения у лётчика сохраняется возможность за счёт прижимного упора увеличить ход ручки управления и тем самым на определенную величину превысить допустимую перегрузку или угол атаки.

The flight mode limiter: purpose and mission

Obolenskiy V.Y.

MAI, Moscow, Russia

In modern “dog-fight” combats the victory is achieved due to the benefits of fighter maneuverable characteristics.

The longitudinal motion efficiency of modern combat fighters is determined by the angle of attack and overload ultimate capabilities.

The analysis show the advantages at realization of incidence angle instantly detecting by pilots. The fighters having this peculiarity could win the combat regardless of opponent location, even in the case of location at the astern. Another implementation profit of huge incidence angles is an opportunity of very efficient aerodynamic deceleration exploitation.

The realization of ultimate overload and huge incidence angles is related to the value of the lift force coefficient

The fighter combat capabilities substantially depend on his maneuverability on the ultimate flight modes, the main demands are the promotion of flight safety on the ultimate flight modes. There are two possible approach for the solution of this task. Firstly, the mechanical limitation of control stick movement. Secondly, the limitation of aircrafts maneuverability by the creation of special control loops.

The first method was realized in mechanical aircraft control system of MiG-29.

Then the current incidence angle approaches to acceptable limits, allowing by the lead. The hydro cylinder takes away a control stick in the way to reduce current incidence angle. This simple and reliable «relay» control has its pros, but also has a con in form of «sawtooth» oscillations at the piloting on acceptable limits of incidence angle.

In fly-by-wire control systems the following principle was realized: the acceptable parameter (incidence angle or longitudinal load) corresponds the maximum of control stick working stroke.

In this case, the implementation of static algorithm in control system, based on adjustment of transmission ratio from control stick to control surface at the approaching to ultimate incident angles and overload, leads to unacceptable transient characteristics, overshoot, static error band. This problem was solved by the designing of astatic control loop of the acceptable flight modes limiter. Due to the integral application, the static errors band absent and on all flight modes the full control stick working stroke corresponds to full available overload and incident angle.

If it is necessary to exceed the acceptable limits, a pilot can overpower the control stick stop and thereby overtake the acceptable overload and incidence angle.

Алгоритм выбора оптимальной задержки подрыва на основе искусственной нейронной сети

Обручев И.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Современное развитие проектирования и производства сверхмалых и малых беспилотных летательных аппаратов и средств воздушного нападения требует от разработчиков различных комплексов ПВО создавать системы, способные с достаточной эффективностью поражать малозаметные и малоразмерные цели, как единичные, так и действующие в составе роя.

Большое влияние на боевую эффективность систем ПВО, работающих по малым целям, оказывают два параметра – скорость реакции на угрозу и время оптимальной задержки подрыва.

Оптимальной задержкой подрыва считается та задержка, при которой вероятность поражения цели максимальна. Для ее получения в данной работе предложен алгоритм определения задержки подрыва, основанный на использовании аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС).

ИНС, используемые в алгоритме, обучена по методу обратного распространения ошибки на выборке, полученной при статистическом моделировании реального изделия. Определена среднеквадратичная ошибка обучения.

Структура разработанной ИНС – трехслойный перцептрон, в котором входной слой состоит из 11 нейронов, скрытый из 4, выходной из 1, в который и выводится параметр задержки. Активационная функция нейронов скрытого слоя – гиперболический тангенс, в данной задаче она обеспечивает меньшую ошибку.

Ввод исходных данных в разработанный алгоритм осуществляется системой управления боевой машины и оператором с его рабочего места. В том числе, вводится и тип цели. В зависимости от введенного типа цели, активируется одна из набора обученных ИНС, которая и вырабатывает значение оптимальной задержки. Необходимость наличия нескольких ИНС в данной реализации алгоритма обусловлена сравнительно небольшой обучающей выборкой и большими различиями в значениях задержки для разных типов цели.

Полученные нейронной сетью значения проверены при помощи статистического моделирования, их адекватность подтверждена. Вероятность поражения цели, полученная при использовании задержки, сгенерированной нейронной сетью, близка к максимальной. Скорость решения задачи выше, чем при использовании традиционных интерполяционных методов, а потребные вычислительные мощности для развертывания обученной ИНС – значительно ниже.

Таким образом, реализация алгоритма в БЦВМ боевой машины и его отработка могут представлять определенный интерес.

Algorithm for selecting the optimal explosion delay based on an artificial neural network

Obruchev I.A.

MAI, Moscow, Russia

The modern development of the design and production of ultra-small and small unmanned aerial vehicles and air attack means requires the developers of various air defense systems to create systems capable of hitting subtle and small targets with sufficient efficiency, both single and operating as part of a swarm.

Two parameters have a great influence on the combat effectiveness of air defense systems operating against small targets – the speed of reaction to the threat and the time of the optimal delay in detonation.

The optimal detonation delay is the delay at which the probability of hitting the target is maximized. To obtain it, in this work, an algorithm for determining the firing delay is proposed, based on the use of artificial neural networks (ANN).

ANN used in the algorithm is trained by the method of back propagation of an error on a sample obtained during statistical modeling of a real product. The root mean square error of training is determined.

The structure of the developed ANN is a three-layer perceptron, in which the input layer consists of 11 neurons, hidden from 4, output from 1, into which the delay parameter is output. The activation function of the neurons of the hidden layer is a hyperbolic tangent, in this task it provides a smaller error.

Input of initial data into the developed algorithm is carried out by the combat vehicle control system and the operator from his workplace. Including, the type of goal is introduced. Depending on the entered target type, one of the set of trained ANNs is activated, which generates the value of the optimal delay. The need for several ANNs in this implementation of the algorithm is due to a relatively small training sample and large differences in the delay values for different types of targets.

The values obtained by the neural network were verified using statistical modeling, and their adequacy was confirmed. The probability of hitting a target, obtained using the delay generated by the neural network, is close to the maximum. The speed of solving the problem is higher than when using traditional interpolation methods, and the required computing power for deploying a trained ANN is much lower.

Thus, the implementation of the algorithm in the on-board computer of a combat vehicle and its development may be of certain interest.

Исследование влияния нестационарности крутильной жесткости волновой передачи с промежуточными телами качения на ее динамические характеристики

Подшибнев В.А., Самсонович С.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

Известно, что волновая передача с промежуточными телами качения (ВПТК) по сравнению с другими известными типами механических передач обладает малыми массогабаритными показателями, высокой крутильной жесткостью, надежностью и точностью, что свидетельствует о целесообразности ее применения в составе силовых приводов систем управления ЛА.

Исследования крутильной жесткости, кинематической точности и люфта ВПТК показывают, что эти параметры являются нестационарными и периодически меняющимися во времени величинами. При этом известно, что если в механической системе присутствуют периодически меняющиеся параметры, то при ее движении на выходном звене будут наблюдаться параметрические колебания. Если скорость вращения звеньев механизма будет лежать вблизи частот параметрических резонансов, то колебания могут усилиться и носить незатухающий характер, что в свою очередь может приводить к повышению уровня виброактивности механизма, снижению ресурса и динамической точности привода. Такие нестационарные процессы в ВПТК не исследованы, поэтому определение границ областей возникновения неустойчивых параметрических колебаний является актуальной задачей.

Целью работы являлось нахождение условий возникновения параметрических резонансов и условий существования незатухающих параметрических колебаний в зависимости от частоты параметрического возбуждения и конструктивных параметров ВПТК.

Для решения поставленной задачи уравнение движения механизма было представлено в виде нелинейного дифференциального уравнения Матье с периодически меняющимся параметром, устойчивость решения которого зависит от соотношения параметров уравнения и частоты возмущения.

На основе анализа этих соотношений для ВПТК были даны сформулированы следующие практические рекомендации по проектированию:

1. Учитывая, что частота параметрического возбуждения механической системы на основе ВПТК увеличивается с ростом, как передаточного числа передачи, так и скорости вращения выходного звена, то целесообразно использовать ВПТК в качестве выходной ступени редуктора исполнительного механизма, построенного на основе низкооборотистого моментного двигателя и механической передачи.

2. Для снижения влияния параметрических колебаний на приводную систему, при проектировании следует увеличивать запас по крутильной жесткости, который ведет к увеличению масса-габаритных показателей.

Investigation of the influence of nonstationarity of torsional stiffness of a harmonic gear with intermediate rolling bodies on its dynamic characteristics

Podshibnev V.A., Samsonovich S.L.

MAI, Moscow, Russia

It is known that the harmonic gear with intermediate rolling bodies (HGRB), in comparison with other known types of mechanical transmissions, has small weight and dimensions, high torsional rigidity, reliability and accuracy, which indicates the expediency of its use as part of power drives of aircraft control systems.

Studies of the torsional stiffness, kinematic accuracy and backlash of the HGRB show that these parameters are non-stationary and periodically varying in time. At the same time, it is known that if periodically changing parameters are present in a mechanical system, then during its movement, parametric oscillations will be observed at the output link. If the speed of rotation of the links of the mechanism lies near the frequencies of parametric resonances, then the oscillations can be amplified and sustained, which in turn can lead to an increase in the level of vibration of the mechanism, a decrease in the resource and the dynamic accuracy of the drive. Such non-stationary processes in the HGRB have not been investigated; therefore, the determination of the boundaries of the regions where unstable parametric oscillations arise is an urgent problem.

The aim of the work was to find the conditions for the occurrence of parametric resonances and the conditions for the existence of continuous parametric oscillations, depending on the frequency of parametric excitation and design parameters of the HGRB.

To solve this problem, the equation of motion of the mechanism was presented in the form of a nonlinear differential Mathieu equation with a periodically varying parameter, the stability of the solution of which depends on the ratio of the parameters of the equation and the frequency of the disturbance.

Based on the analysis of these ratios, the following practical design recommendations were formulated for the HGRB:

1. Considering that the frequency of the parametric excitation of a mechanical system based on the HGRB increases with an increase in both the gear ratio and the rotation speed of the output link, it is advisable to use the HGRB as the output stage of the reducer of the actuator, built on the basis of a low-speed torque motor and mechanical transmission.

2. To reduce the influence of parametric vibrations on the drive system, when designing, it is necessary to increase the torsional stiffness margin, which leads to an increase in weight and overall dimensions.

Обеспечение безопасности системы «человек-робот-среда деятельности» при использовании коллаборативных роботов космического назначения

Походенко М.В., Чеботарев Ю.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Сегодняшний уровень развития робототехнических систем позволяет поднимать вопросы, связанные с применением коллаборативных роботов (коботов) в космосе. Несмотря на обширный спектр задач, при решении которых роботы не могут заменить человека, существует ряд рутинных работ, которые выполняются в опасных для человека условиях, но не сопряжены с принятием сложных решений – они могут быть произведены с помощью использования коллаборативных роботов.

При работе человека с коботом одним из важных вопросов является обеспечение работоспособности канала взаимодействия человека и робота. Требования многофункциональности, накладываемые на коботов, предполагают, что большая часть внимания при проектировании данного канала будет уделяться речевому взаимодействию и голосовому управлению.

Несмотря на темпы развития робототехники в части взаимодействия её с человеком, на текущий момент нет разработанной и унифицированной модели обеспечения безопасности человека при взаимодействии с роботом. В данной области присутствует необходимость определения структуры такой системы, которая позволит обеспечить безопасное нахождение человека рядом с коботами и избежать возникновения опасных ситуаций при взаимодействии как человека, так и робота с окружающей средой. Предлагается повысить эффективность систем, направленных на решение подобного рода задач, за счёт улучшения: распознавания речи, процесса понимания человека на уровне общения, составления у робота карты окружающего мира и создания у него систем анализа ситуаций.

Реализация описанной системы требует, в частности, решение следующих задач:

1. Определение рабочих функций робота.

2. Выделение рабочих ситуаций, при которых возможны физические контакты робота и человека.

3. Определение опасных ситуаций – возможных физических контактов, опасных для человека с учетом областей контакта и энергетических воздействий.

4. Разделение опасных ситуаций на 2 класса: класс 1 – ситуации, предотвращаемая при речевом общении робота и человека (предупреждения, команды), класс 2 – ситуации, требующие включение в бортовые системы роботов специальных систем обеспечения безопасности (датчики, система аварийного останова, ограничители мощности и пр.).

Совместно с разработанной методикой оценки эффективности данных систем, программного-аппаратный комплекс подобного рода позволит обеспечить комфортное взаимодействие человека с роботом и предоставить помощь в выполнении задач, поставленных в условиях работы в космосе.

Ensuring the safety of the "human-robot-environment" system when using collaborative space robots

Pokhodenko M.V., Chebotarev Y.S.

MAI, Moscow, Russia

The current level of development of robotic systems allows raising issues related to the use of collaborative robots (cobots) in space. Despite the wide range of tasks in the solution of which robots cannot replace humans, there are a number of routine tasks that are performed in dangerous conditions for humans, but do not involve in making difficult decisions - they can be performed using collaborative robots.

When a person is working with a cobot, one of the important issues is to ensure the operability of the channel of human-robot interaction. The multifunctional requirements imposed on cobots suggest most of the focus in the design of this channel will be on speech interaction and voice control.

Despite the pace of development of robotics in terms of its interaction with humans, at the moment there is no developed and unified model for ensuring human safety when interacting with a robot. In this area, there is a need to determine the structure of a such system, which will ensure the safe location of a person near cobots and avoid the occurrence of dangerous situations when both a person and a robot interact with the environment. It is proposed to increase the efficiency of systems aimed at solving this kind of problems by improving: speech recognition, the process of understanding a person at the level of communication, drawing up a picture of the world around the robot and creating systems for analyzing situations.

The implementation of the described system requires, in particular, the solution of the following tasks:

1. Determination of the working functions of the robot.

2. Identification of work situations in which physical contacts between a robot and a human are possible.

3. Identification of dangerous situations – possible physical contacts that are dangerous for humans, taking into account the areas of contact and energy impacts.

4. Division of dangerous situations into 2 classes: class 1 – situations that are prevented during speech communication between a robot and a person (warnings, commands), class 2 – situations that require the inclusion of special safety systems in the onboard systems of robots (sensors, emergency stop system, power limiters, etc.).

Together with the developed methodology for assessing the effectiveness of these systems, a software and hardware complex of this kind will provide a comfortable interaction between a person and a robot and provide assistance in performing tasks set in conditions of work in space.

Выбор проектных параметров энергодвигательной установки необитаемого подводного аппарата для авиационного носителя

Санников Ю.И., Артёмов А.В.

АО «НИИ мортеплотехники», г. Санкт-Петербург, Россия

Сегодня ведущими мировыми державами, особенно США, активно ведется разработка необитаемых подводных аппаратов (АНПА) различного назначения. АНПА решают широкий спектр разведывательно-информационных задач по освещению надводной и подводной обстановки, включая поиск мин [1], а также ударные задачи поражения подводных целей. Последний тип аппаратов обладает значительной энерговооруженностью и может применяться, в том числе, с авиационных носителей: самолеты, вертолеты, в перспективе – беспилотные летательные аппараты (БЛА). Существующие образцы российских высокоскоростных АНПА обладают значительными массогабаритными характеристиками, что не позволяет разместить большое количество данных технических средств на борту носителя (особенно, БЛА). Поэтому задача создания высокоскоростных сверхмалых подводных аппаратов в калибре менее 324 мм, является актуальной для Российской Федерации.

Обобщив мировой опыт и имеющийся научно-технический задел по тепловой энергетике, в АО «НИИ морской теплотехники» [2] совместно с АО «ЛГМ» рассмотрены пути решения задачи создания малогабаритного высокоскоростного глубоководного энергодвигательного пропульсивного комплекса для АНПА на основе газотурбинной энергосиловой установки, работающей по открытому циклу на твердом топливе.

Выбор и оптимизация проектных параметров пропульсивного комплекса с газотурбинной силовой установки открытого цикла для подводного аппарата является многопараметрической задачей, связанной с определением тяги (упора), расходно-напорных и кавитационных характеристик движительного комплекса АНПА в зависимости от его калибра и номинальной скорости его хода, определением оптимального значения номинальной глубины хода (противодавления). Критерием для оптимизации ЭСУ был принят минимальный удельный расход возимых энергокомпонентов в заданных габаритных ограничениях во всем диапазоне глубин и скоростей хода АНПА.

Выполненные расчеты и конструктивные проработки дают представление о массогабаритных характеристиках, полезной нагрузке, скорости, глубине, эффективной дальности хода, а также стоимости энергодвигательного комплекса предлагаемого АНПА.

1. Кузьмин В. Взгляды специалистов США на применение необитаемых подводных аппаратов // Зарубежное военное обозрение. 2020. - №9. – С. 68 – 72.

2. Ушенин Л.Н., Гуров В.Ф., Санников Ю.И. Торпедные турбинные двигатели. – СПб.: АО «НИИ морской теплотехники», 2015. – 373 с.

Selection of design parameters for propulsion system of unmanned underwater vehicle for delivery aircraft

Sannikov Yu.I., Artyomov A.V.

JSC "Research &Design Institute Morteplotekhnika", Saint-Petersburg, Russia

The unmanned underwater vehicles (UUV) of different purpose become the most important technical means ensuring activity of the leading blue water shipping nation fleets. Today they solve a wide spectrum of reconnaissance and information tasks on covering the surface and underwater situation, including search for mines, as well as the tasks on undersea targets destruction [1]. The latest type of vehicles have significant power loading and can be used on the delivery aircrafts (airplanes, helicopters, and in the future – unmanned aerial vehicles).

Having summarized the world experience and the existing research and technological groundwork in the sphere of thermal energy, JSC "Research &Design Institute Morteplotekhnika" [2] along with JSC "LGM" have considered the ways for solving a task on creation of small-size high-speed deep-water propulsion system for UUV on the basis of the solid-fuel open-cycle gas-turbine power plant.

Selection and optimization of design parameters of the propulsion system with the open-cycle gas-turbine power plant for the underwater vehicle is a multi-parameter task connected with determination of thrust, head-capacity curve and cavitation characteristics of the UUV propulsion system depending on its size and nominal speed, and with determination of optimum value of a nominal running depth (back pressure). The criterion for power plant optimization was taken the minimum specific consumption of the carried power components within the specified space limitations in the whole range of UUV depths and running speeds.

The calculations and design definitions performed provide an indication of physical data, useful load, speed, depth, effective range, as well as the cost of the proposed UUV propulsion system.

1. V. Kuzmin. Views of US experts toward application of unmanned underwater vehicles // Foreign military review. 2020. - No.9. - P. 68 – 72.

2. L.N. Ushenin, V.F. Gurov, Yu.I. Sannikov Torpedo turbine engines. – SPb.: JSC "Research & Design Institute Morteplotekhnika", 2015. – 373 p.

Шагающая машина для доставки огнеопасных и взрывоопасных грузов

Самсонович С.Л., Скворцова А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время широкое применение находят БПЛА без стационарных аэродромов. Классическим способом доставки взрывоопасного груза является использование тележки-ложемета на шинных колесах. Отсутствие подъездных дорог затрудняет возможность использования известного способа. Гусеничные тягачи не всегда имеются в распоряжении.

Шагающий способ передвижения имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными колёсными или гусеничными движителями [1]. Например, у шагающих машин нет понятия маленькое давление на грунт. Размеры колёс и гусениц можно увеличивать только в разумных пределах, в то время как шагающую опору вполне реально сделать больше габаритов транспортного средства. Это свойство находит применение в перспективных проектах шельфовых платформ для северных районов.

Создание шагающих машин, обеспечивающих скрытную, без повреждения поверхностного слоя почвы доставку огнеопасных и детонационных грузов от мест их хранения до летательного аппарата, является актуальной задачей.

Целью работы является создание шагающего транспортного средства, способного доставить груз до места назначения в полевых условиях.

Предлагается изготовить шагающую машину, в основе которой используется лямбда-образный механизм П.Л. Чебышева. Четыре таких механизма со смещением траектории вниз потребуют применить десять рычагов и двенадцать шарниров. Это простейшие кинематические пары с большой надёжностью. Для увеличения надёжности можно не усложнять механизм [2], удлинив главные опоры машины. Эти опоры регулируются по высоте.

Рациональность использования заключается в следующем:

1. Низкое давление на грунт.
2. Поступательное движение уменьшает вертикальные перегрузки.
3. Равномерное движение снижает горизонтальные колебания.
4. Простая кинематическая схема повышает надёжность.
5. Минимум персонала.

Разработанное техническое предложение имеет преимущества по проходимости, надёжности и удобству эксплуатации.

1. Скворцова А.А., Папиашвили Э.Д. Шагающая платформа для освоения тундры, Арктики и шельфовых областей // Юные техники и изобретатели / Сборник материалов по итогам II Всероссийской конференции в Государственной Думе РФ / - С.32-33.

2. Патент РФ № 2017138076, 01.11.2017.

Механизм шагающей машины // Патент России № 2017138076. 2019. Бюл. № 13. / Скворцова А.А.

Walking machine for delivery of flammable and explosive cargo

Samsonovich S.L., Skvortsova A.A.

MAL, Moscow, Russia

Currently, UAVs that are used outside of fixed airfields are widely used. The classic way to deliver explosive cargo is to use a truck-a flatbed on tire wheels, controlled by the service personnel. The lack of access roads makes it difficult to use the known method. Crawler tractors are not always available and more damage the environment.

The walking method of movement has a number of advantages over traditional wheeled or tracked engines [1]. For example, walking cars don't have the concept of skidding. But the main advantage of walking is the ability to provide a small pressure on the ground. The size of the wheels and tracks can only be increased within reasonable limits, while it is quite possible to make the walking support larger than the dimensions of the vehicle. This property is used in promising projects of offshore platforms for the Northern regions.

The creation of walking machines that ensure the hidden delivery of flammable and detonation loads from their storage sites to the aircraft without damaging the surface layer of the soil is an urgent task.

The aim of the work is to create a walking vehicle that can deliver cargo to its destination in the field.

It is proposed to make a walking machine based on the lambda-shaped mechanism of P. L. Chebyshev. Four such mechanism with the displacement of the trajectory down will require ten of the twelve levers and hinges. These are the simplest kinematic pairs with high reliability. To increase reliability, you can not complicate the mechanism [2] by extending the main supports of the machine. These supports are height-adjustable.

Rational use is as follows:

1. Low pressure on the ground.
2. Forward motion reduces vertical overloads.
3. Uniform motion reduces horizontal vibrations.
4. A simple kinematic scheme improves the reliability.
5. Minimum staff.

The developed technical offer has advantages in terms of passability, reliability and ease of operation.

1. Skvortsova A. A., Papiashvili E. D. walking platform for the development of the tundra, Arctic and shelf areas // Young technicians and inventors / collection of materials on the results of the II all - Russian conference in The state Duma of the Russian Federation / -P. 32-33.

2. patent of the Russian Federation No. 2017138076, 01.11.2017.

The mechanism for walking machine // Russian Patent No. 2017138076. 2019. Byul. No. 13. / Skvortsova A. A.

Об использовании роботов на Луне при создании крупногабаритного детектора частиц высоких энергий «Нейтроний»

¹Сапрыкин О.А., ²Каленик А.В., ³Толстель О.В.

¹ГЕОХИ РАН, г. Москва, Россия

²ОКБ «Факел», ³ИФМНИИТ, г. Калининград, Россия

Проект создания детектора частиц высоких энергий на поверхности Луны под названием «Нейтроний» является одним из наиболее интересных и масштабных научных проектов, реализация которых возможна на поверхности Луны в обозримом будущем. Создание такого детектора позволит, в частности, изучать состав вещества других галактик, что невозможно в рамках проектов с «наземными» инструментами.

Суть создания телескопа состоит в том, что на площади ~100 кв. метров на Луне необходимо расположить 100 идентичных, автономных в эксплуатации модулей массой примерно 200 кг каждый. Такие модули необходимо снабдить энергопитанием, каналами связи, обеспечить их обслуживание. По мнению авторов, эту задачу вполне может

обеспечить робототехника без непосредственного присутствия человека на поверхности Луны.

Учитывая огромную трудоёмкость доставки более 20 тонн научной аппаратуры на Луну, работы с научным оборудованием на поверхности Луны должны быть максимально надёжными, а, следовательно, простыми, иметь низкую трудоёмкость как при подготовке к полёту на Земле, так и при развёртывании детектора на Луне, обладать определённой гибкостью, свойственной присутствию человека. Кроме того, и модули, и обслуживающая их робототехника должны иметь большой ресурс при работе в условиях лунной поверхности.

Учитывая собственный опыт выполненных ранее работ по моделированию роботов для условий Луны, проведенных испытаний в термовакуумных камерах, авторы предлагают использовать для строительства телескопа «Нейтроний» несколько (два или три) колёсно-шагающих платформы размерностью 700-900 кг (размерность советских «Луноходов») с установленными на них торсовыми частями антропоморфных роботов, аналогичных проекту Skybot F-850 АО «Андроидная техника». Роботы могут работать как в автоматическом, так и в супервизорном режимах с гибкой программой управления.

Предполагается, что упомянутые роботы на колёсных платформах будут использоваться не только для проекта «Нейтроний». В частности, они будут использоваться для устранения с поверхности скальных обломков более 100 мм при подготовке взлётно-посадочных площадок для различных (в том числе и пилотируемых) космических аппаратов, обслуживания научной аппаратуры, размещения и обслуживания навигационных комплексов, а также для обслуживания (возможно, ремонта) самих себя.

About the use of robots on the Moon for creating a large-sized detector of high-energy particles "Neutronium"

¹Saprykin O.A., ²Kalenik A.V., ³Tolstel O.V.

¹GEOKHI RAS, Moscow, Russia

²EDB "Fakel", ³IFMNIIT, Kaliningrad, Russia

The project of creating a high-energy particle detector on the lunar surface called "Neutronium" is one of the most interesting and large-scale scientific projects, the implementation of which is possible on the lunar surface in the foreseeable future. The creation of such a detector will make it possible, in particular, to study the composition of matter in other galaxies, which is impossible in the framework of projects with "ground-based" instruments.

The essence of creating a telescope is that on an area of ~ 100 sq. meters on the Moon, it is necessary to place 100 identical, autonomous in operation modules weighing about 200 kg each. Such modules must be supplied with power supply, communication channels, and ensure their maintenance. According to the authors, this task may well be provided by robotics without the direct presence of a person on the surface of the Moon.

Considering the enormous laboriousness of delivering more than 20 tons of scientific equipment to the Moon, work with scientific equipment on the lunar surface should be as reliable as possible, and, therefore, simple, have low labor intensity both in preparation for a flight on Earth and when deploying a detector on the Moon, a certain flexibility inherent in the presence of a person. In addition, both the modules and the robotics serving them must have a long resource when working in the lunar surface.

Taking into account their own experience of the previously performed work on simulating robots for the conditions of the Moon, tests carried out in thermal vacuum chambers, the authors propose to use several (two or three) wheeled-walking platforms with a dimension of 700-900 kg (the dimension of Soviet Lunokhod vehicles) with the torso parts of anthropomorphic robots installed on them, similar to the Skybot F-850 project of Android Technics JSC. The robots can operate in both automatic and supervisory modes with a flexible control program.

It is assumed that the mentioned robots on wheeled platforms will be used not only for the Neutronium project. In particular, they will be used to remove rock debris more than 100 mm from the surface during the preparation of takeoff and landing sites for various (including manned)

spacecraft, maintenance of scientific equipment, placement and maintenance of navigation systems, as well as for maintenance (possibly, repair) themselves.

Моделирование аккумулятора для защиты от гидроудара быстродействующих регулирующих клапанов с использованием SimInTech

Селиванова В.А., Беклемищев Ф.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Научно-технический прогресс в развитии гидравлических и электрогидравлических систем позволил разработать быстродействующие регулирующие клапаны. Срабатывание данных клапанов позволяет быстро открывать или закрывать линии гидропередач, что может спровоцировать резкий скачок давления и, как следствие, гидроудар. Изучение гидравлических переходных процессов началось с изучения распространения звуковых волн в воздухе, после чего были сформулированы научные теории Н.Е. Жуковского и Л. Аллиеви. Жуковский разработал формулы для определения скорости скачка волны, изменения давления, а также проанализировал влияние на эти параметры скорости закрытия клапана. Изучение данных процессов продолжается и в настоящее время в связи с актуальностью проблем, вызываемых появлением гидроудара, например, в исследованиях М. Чайко и Э. Равина.

Данная работа посвящена оценке применения пневматических гидроаккумуляторов для защиты от этого явления. Для гидравлической системы была разработана модель с сосредоточенными параметрами, предполагающая учёт влияния сопротивления, инерции и ёмкости. В результате работы представлен вывод конечного выражения для определения размера гидравлического аккумулятора необходимого для защиты гидросистемы от разрушительного воздействия скачка давления.

В рамках моделирования в среде динамического моделирования технических систем SimInTech используется четырёхкомпонентная модель с сосредоточенными параметрами. Выбор данной модели основан на сравнении получаемых результатов (и величин ошибки) с опубликованными измерениями для одно-, двух-, трёх- и десятикомпонентных моделей в работах Ж. Лаллемента и М. Г. Рабие. Такого рода сравнение позволило сделать вывод о том, что разработанная модель с приемлемой точностью согласуется с экспериментальными данными по максимальному отклонению, частоте и времени переходного процесса. Однако следует признать, что модели, разработанные на основе предположений о распределённых параметрах, являются более точными, но достаточно сложными для реализации.

Представленные результаты моделирования показали, что внедрение гидроаккумулятора соответствующего размера позволяет уменьшить длительность и амплитуду переходных колебаний давления и тем самым минимизировать «силу» гидроудара и его последствия.

Simulation of a surge relief accumulator for fast-response control valves with SimInTech

Selivanova V.A., Beklemishev F.S.

MAI, Moscow, Russia

Scientific and technological progress in the development of hydraulic and electro-hydraulic systems has made it possible to develop fast-response control valves. The actuation of these valves allows you to quickly open or close hydraulic lines, which can provoke a sharp surge overpressure and, as a result, a water-hammer effect. The study of hydraulic transient processes began with the study of the sound-wave propagation in the air, after which the scientific theories of N.E. Zhukovskiy and L. Allievi were formulated. Zhukovskiy developed formulas for determining the speed of the wave shock, pressure changes, and also analyzed the effect of the valve closing speed on these parameters. The study of these processes continues at the present days due to the urgency of the problems caused by the appearance of water-hammer effect, for example, in the studies of M. Chaiko and E. Ravin.

This work is devoted to the assessment of the use of pneumatic accumulators to protect against this phenomenon. For the hydraulic system, a lumped-parameter model was developed that takes into account the influence of resistance, inertia and capacity. As a result of the work, the derivation

of the final expression for determining the size of the hydraulic accumulator necessary to protect the hydraulic system from the destructive effects of a surge overpressure is presented.

Within the framework of simulation in the environment of dynamic modeling of SimInTech technical systems, a four-component model with lumped parameters is used. The choice of this model is based on a comparison of the obtained results (and error values) with published measurements for one-, two-, three- and ten-component models in the works of J. Lallemand and M. G. Rabie. This kind of comparison allowed us to conclude that the developed model agrees, with acceptable accuracy, with experimental data on the maximum deviation, frequency and time of the transient process. However, it should be recognized that the models developed on the basis of assumptions about distributed parameters are more accurate, but quite complicated for implementation.

The presented simulation results showed that the introduction of a hydroaccumulator of the appropriate size makes it possible to reduce the duration and amplitude of transient pressure fluctuations and thereby minimize the «force» of the water-hammer effect and its consequences.

Искусственный интеллект в космической деятельности: перспективы применения эластичных вычислительно-программных комплексов

Семенов А.С., Иванишин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассмотрим применение искусственного интеллекта (ИИ) для космической деятельности: беспилотных миссий и пилотируемой космонавтике.

Применение ИИ для беспилотных миссий характеризуется различными техническими системами со встроенными элементами ИИ, в соответствии с требованиями к миссии. Для пилотируемой космонавтики, кроме этого, необходимы системы ИИ, позволяющие автоматизировать деятельность космонавтов в зависимости от возникающих потребностей. В этой связи важную роль играют распределенные эластичные вычислительно-программные комплексы, служащие организационной инфраструктурой для ИИ. Такой подход позволяет организовать оптимальным образом распределенные вычислительные процессы систем с ИИ в условиях ограниченных информационных ресурсов.

Введем основополагающие определения для предлагаемого подхода.

Определение 1. Ресурсы Информационных Технологий (ИТ-ресурсы) подразделяются на аппаратные, программные и человеческие. Аппаратные ресурсы – это процессоры, накопители с памятью, и различные технические устройства. Программные ресурсы – это программные пакеты, приложения, базы данных и знаний, поддерживающие системы с ИИ. К человеческим ресурсам относятся опыт в масштабах управления миссией, деятельность космонавтов и полученные ими навыки при подготовке.

Определение 2. Распределенный эластичный вычислительно-программный комплекс – это вычислительная система, обладающая свойством адаптивности к динамически изменяющейся в реальном времени рабочей нагрузке путем предоставления и отмены предоставления ИТ-ресурсов автономным образом, чтобы в каждый момент времени доступные ИТ-ресурсы максимально соответствовали текущим требованиям.

Архитектуры технической системы с ИИ на основе распределенного эластичного вычислительно-программного комплекса описывается графом, изменяющимся в зависимости от потребностей миссии, как автоматически, так и под космонавта. В вершинах графа располагаются аппаратные и программные ИТ-ресурсы.

Artificial intelligence in space activities: prospects for application elastic computer and software complexes

Semenov A.S., Ivanishin A.A.

MAI, Moscow, Russia

Let us consider the use of artificial intelligence (AI) for space activities: unmanned missions and manned space exploration.

The use of AI for unmanned missions is characterized by various technical systems with built-in AI elements, in accordance with the mission requirements. For manned astronautics, in addition, AI

systems are needed to automate the activities of astronauts, depending on emerging needs. In this regard, distributed elastic computing and software systems play an important role, serving as the organizational infrastructure for AI. This approach allows you to organize in an optimal way distributed computing processes of systems with AI in conditions of limited information resources.

Let us introduce the basic definitions for the proposed approach.

Definition 1. Resources of Information Technology (IT resources) are divided into hardware, software and human. Hardware resources are processors, memory drives, and various technical devices. Software resources are software packages, applications, databases, and knowledge that support AI systems. Human resources include experience in mission management, the activities of astronauts and the skills they have acquired in training.

Definition 2. A distributed elastic computing and software complex is a computing system that has the property of adapting to a dynamically changing workload in real time by providing and canceling the provision of IT resources in an autonomous way, so that at each moment of time the available IT resources meet the current requirements as much as possible.

The architecture of a technical system with AI based on a distributed elastic computing and software complex is described by a graph that changes depending on the needs of the mission, both automatically and for an astronaut. Hardware and software IT resources are located at the vertices of the graph.

Применение методов машинного обучения для выявления мошеннических операций с кредитными картами

Чернова В.В., Виноградов В.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Решение задачи выявления мошенничества с кредитными картами на сегодняшний день является актуальной. Обычно при решении задачи обнаружения такого мошенничества применяют следующие типы методов: простые статистические методы, при которых фильтр нижних частот позволяет выявлять аномалии в простых случаях использования и подходы на основе машинного обучения, включая обнаружение аномалий на основе плотности, обнаружение аномалий с использованием методов кластеризации, а также алгоритм обнаружения аномалий в изолированном лесу и алгоритм обнаружения аномалий методом опорных векторов.

В интеллектуальном анализе данных обнаружение аномалий (или обнаружение выбросов) - это процедура идентификации редких элементов, событий или наблюдений, вызывающих подозрения, поскольку они значительно отличаются от большинства данных. Аномалии можно разделить на следующие общие категории: точечные, контекстные и коллективные.

В точечных аномалиях один экземпляр данных является аномальным, если он слишком далек от остальных. В контекстных аномалиях все зависит от контекста. Этот тип аномалии часто встречается в данных временных рядов. Коллективные аномалии представляют собой набор экземпляров данных, которые помогают выявлять аномалии в совокупности. Пример использования в бизнесе: кто-то неожиданно пытается скопировать данные с удаленного компьютера на локальный хост, что может быть отмечено как потенциальная кибератака.

Задача обнаружения мошенничества с кредитными картами включает сбор сведений о прошлых транзакциях по кредитным картам с проставленными признаками мошеннических транзакций, предобработка набора данных и затем построение и оценка модели выявления мошеннических транзакций. Далее эта модель используется для определения того, является ли новая транзакция мошеннической.

Программное решение поставленной задачи выполняется в среде Ipython notebook. Методы, используемые для решения поставленной задачи: алгоритм обнаружения аномалий в изолированном лесу, алгоритм обнаружения аномалий на основе плотности с использованием локального уровня выброса и метод опорных векторов.

Applying machine learning methods to detect fraudulent transactions with credit cards

Chernova V.V., Vinogradov V.I.

MAI, Moscow, Russia

The solution of identifying fraud with credit cards is relevant today. Usually, the next types of methods are used to solve the problem of detecting frauds: simple statistical ways in which a low-pass filter allows detecting anomalies in simple use cases and approaches based on machine learning, including density-based anomaly detection, anomaly detection using clustering techniques, and also isolated forest anomaly detection and support vector anomaly detection.

In intellectual data analysis, the finding of anomaly (or stranger education) is the procedure for identifying sparse elements, events, or notice that are suspicious because they are differ significantly from most data. Anomalies can be divided into three general categories: point, fact, and collective.

In point anomalies, one exemplar of data is anomalous if it is too away from the rest. In context, all anomalies depend on the scope. This type is often found in time series data. Common anomalies are a cluster of data patterns that help identify anomalies collectively. For example: Someone unexpectedly tries to copy data from a remote computer to a local host, which could be flagged as a potential cyberattack.

The task of detecting fraudulent credit cards involves collecting information about past credit card transactions with indications of fraudulent transactions, preprocessing the dataset, and then building and evaluating a fraudulent transaction detection model. This model is then used to determine if a new transaction is fraudulent.

The software solution of the task is performed in the Ipython notebook environment. The methods used to solve the problem are: an anomaly detection algorithm in an isolated forest, an anomaly detection algorithm based on density using a local outlier level, and a support vector machine.

7. Математические методы в аэрокосмической науке и технике

7. Mathematical Methods in Aerospace Science and Technology

Математическое обоснование эффективности вертикальных цилиндрических аппаратов воздушного охлаждения установок низкотемпературной СВЧ-переработки водонефтяных эмульсий от параметров турбулизатора охлаждающего воздуха

Абдеев Э.Р., Мешалкин В.П., Сайтов Р.И.
БашГУ, г. Уфа, Россия

Исходя из Закона Бернулли и уравнений гидростатики была проинтегрирована функция кривой формы целевого слоя организованного потока воздуха (ОПВ) при условии постоянства теплофизических характеристик воздуха в нём, и не перемешивающихся слоёв воздуха, характеризующихся различной плотностью. Были получены зависимости связывающие высоту, скорость, угол между линейной и тангенциальной скоростями (УЛТС) и радиусом организованного потока воздуха до элементарного объёма воздуха с высотой целевого слоя воздуха, радиусом подачи охлаждающего воздуха, поступающего в турбулизатор вертикального цилиндрического аппарата воздушного охлаждения (АВО-ВЦ) и его высотой.

Полученная зависимость скорости ОПВ через сопло турбулизатора АВО-ВЦ позволяет логически обосновать снижение температуры охлаждающего воздуха АВО-ВЦ с заданными конструктивными параметрами турбулизатора. Поэтому при эмпирическом исследовании влияния параметров турбулизатора на ОПВ, в функциональных моделях АВО-ВЦ, следует определять угол завихрителей турбулизатора как один из основных факторов влияющих на температуру охлаждающего воздуха, равно как и эффективность АВО-ВЦ установок низкотемпературной СВЧ-переработки водонефтяных эмульсий.

Благодаря найденной зависимости, характеризующей форму ОПВ, появилась возможность определять соотношения геометрических параметров экспериментального стенда и функциональных моделей АВО-ВЦ. Полученные зависимости позволяют исключить строительство сложных стендов и функциональных моделей АВО-ВЦ с избыточным диапазоном геометрических параметров.

Регулирование баланса между расходом и температурой охлаждающего воздуха обеспечивается подбором угла завихрителей турбулизатора АВО-ВЦ. Тангенциальная скорость элементарного объёма ОПВ обеспечивает разделение воздушных слоёв вдоль линии потока воздуха целевого слоя. Уменьшение УЛТС означает увеличение гидравлического сопротивления и уменьшение расхода охлаждающего воздуха АВО-ВЦ.

Полученная формула описывающая скорость воздуха ОПВ в любой точке, в зависимости от высоты и радиуса, позволяет осуществлять проверку достоверности полученных результатов, что даст возможность скорректировать расчетную методику для определения расхода и температуры охлаждающего воздуха, при заданных параметрах АВО-ВЦ.

Substantiation of the effectiveness of vertical cylindrical air-cooling apparatuses for low-temperature microwave processing of oil-water emulsions from the parameters of the cooling air turbulator

Abdeev E.R., Meshalkin V.P., Saitov R.I.
BashSU, Ufa, Russia

Based on Bernoulli's Law and the equations of hydrostatics, the function of the curve of the shape of the target layer of the organized air flow (OAF) was integrated, provided that the thermophysical characteristics of the air in it are constant, and non-mixing air layers characterized by different densities. Dependences were obtained connecting the height, speed, angle between linear and

tangential velocities (ALTV) and the radius of the organized air flow to an elementary air volume with the height of the target air layer, the radius of the cooling air supplied to the turbulator of a vertical cylindrical air cooling apparatus (VC-ACA) and its height.

The obtained dependence of the OAF speed through the nozzle of the VC-ACA turbulizer makes it possible to logically substantiate the decrease in the temperature of the cooling air of VC-ACA with the given design parameters of the turbulator. Therefore, in an empirical study of the influence of the turbulator parameters on the OAF, in the VC-ACA functional models, the angle of the turbulator swirlers should be determined as one of the main factors affecting the temperature of the cooling air, as well as the efficiency of the VC-ACA installations for low-temperature microwave processing of oil-water emulsions.

Thanks to the found dependence characterizing the shape of the OAF, it became possible to determine the ratio of the geometric parameters of the experimental stand and the functional models of VC-ACA. The obtained dependencies make it possible to exclude the construction of complex stands and functional models of VC-ACA with an excessive range of geometric parameters.

Regulation of the balance between the flow rate and the temperature of the cooling air is provided by selecting the angle of the swirlers of the VC-ACA turbulator. The tangential velocity of the elementary volume of the OAF provides the separation of air layers along the air flow line of the target layer. A decrease in ALTV means an increase in hydraulic resistance and a decrease in the consumption of cooling air VC-ACA.

The resulting formula describing the air velocity of the OAF at any point, depending on the height and radius, allows you to check the reliability of the res ALTV obtained, which will make it possible to correct the calculation method for determining the flow rate and temperature of the cooling air, at the given parameters of the VC-ACA.

Нелинейный анализ устойчивости коллинеарной точки либрации L1 в плоской ограниченной круговой фотогравитационной задаче трех тел

Авдюшкин А.Н., Бардин Б.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается движение частицы малой массы под действием двух притягивающих центров – тел, взаимодействующих по закону всемирного тяготения и движущихся по кеплеровским орбитам. Предполагается, что помимо сил гравитационного притяжения на частицу действуют репульсивные силы светового давления. Существует частный случай движения – коллинеарная точка либрации L1, когда частица во все время движения располагается между притягивающими центрами на одной с ними прямой. Устойчивость данной коллинеарной точки исследовалась ранее. Наиболее строгие и полные результаты были получены в случае равных масс и равных интенсивностей излучения притягивающих центров [1,2].

В данной работе предполагается, что притягивающие центры движутся по крутовым орбитам, а их массы и интенсивности излучения могут принимать произвольные значения. На основе нелинейного анализа показано, что при отсутствии резонансов до четвёртого порядка включительно неустойчивость может возникнуть лишь на двумерной поверхности вырождения в трёхмерном пространстве параметров. Уравнение этой поверхности получено в аналитической форме. Было также установлено, что на двумерной резонансной поверхности, отвечающей резонансу третьего порядка, существует одномерное множество – кривая, где точка либрации L1 устойчива по Ляпунову. Вне указанной кривой на резонансной поверхности имеет место неустойчивость по Ляпунову.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №20-31-90065 и грант № 20-01-00637).

Литература:

1. Bardin B.S., Avdushkin A.N. Stability analysis of an equilibrium position in the photogravitational Sitnikov problem – AIP Conference Proceedings 1959, 040002 (2018)

2. Bardin B.S., Avdushkin A.N. Stability of the collinear point L 1 in the planar restricted photogravitational three-body problem in the case of equal masses of primaries – 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 927 012015 (2020).

Nonlinear stability analysis of the collinear libration point L1 in the plane restricted circular photogravitational three-body problem

Avdyushkin A.N., Bardin B.S.

MAI, Moscow, Russia

There is considered the motion of a lowmass particle under the action of two attracting centers – bodies that interacting according to the law of universal gravitation and moving along Kepler orbits. It is assumed that repulsive forces of light pressure act on the particle in addition to the forces of gravitational attraction. There is a special case of motion – the collinear libration point L1, when the particle is located between the attracting centers on the same line with them during the entire motion. The stability of this collinear point was studied earlier. The most rigorous and complete results were obtained in the case of equal masses and equal radiation intensities of the attracting centers [1,2].

In this paper, it is assumed that the attracting centers move in circular orbits, and their masses and radiation intensities can take arbitrary values. Based on nonlinear analysis, it is shown that in the absence of resonances up to and including the fourth order, instability can occur only on a two-dimensional degeneracy surface in a three-dimensional parameter space. The equation of this surface is obtained in analytical form. It was also found that on a two-dimensional resonant surface corresponding to a third-order resonance, there exists a one-dimensional set - a curve where the libration point L1 is Lyapunov stable. Outside the specified curve, the Lyapunov instability occurs on the resonant surface.

The research was performed at the Moscow Aviation Institute (National Research University) with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (grant №20-31-90065 and grant №20-01-00637).

References:

1. Bardin B.S., Avdushkin A.N. Stability analysis of an equilibrium position in the photogravitational Sitnikov problem – AIP Conference Proceedings 1959, 040002 (2018)
2. Bardin B.S., Avdushkin A.N. Stability of the collinear point L 1 in the planar restricted photogravitational three-body problem in the case of equal masses of primaries – 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 927 012015 (2020).

Исследование орбитальной устойчивости маятниковых движений волчка Ковалевской с вибрирующей вдоль горизонтали точкой подвеса

Беличенко М.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается движение тяжёлого твёрдого тела с геометрией масс, отвечающей случаю Ковалевской, точка подвеса которого совершает горизонтальные вибрации. Изучаются маятниковые движения волчка, при которых тело совершает колебания или вращения вокруг горизонтально расположенной главной оси инерции либо являющейся осью динамической симметрии, либо осью из экваториальной плоскости инерции. Такие движения могут происходить в вертикальной плоскости, содержащей ось вибраций, или в перпендикулярной ей вертикальной плоскости.

В работе рассматривается вопрос об орбитальной устойчивости описанных движений по отношению к пространственным возмущениям. Полученные ранее результаты линейного анализа устойчивости дополнены. Показано, что маятниковые движения, для которых ось динамической симметрии перпендикулярна оси вибраций, всегда неустойчивы.

Для случая, когда при маятниковых движениях оси вибраций перпендикулярна ось из экваториальной плоскости инерции, в областях устойчивости в линейном приближении проведен подробный нелинейный анализ орбитальной устойчивости. Построены кривые вырождения (в слагаемых четвертой степени гамильтониана возмущенного движения). Вне этих кривых при отсутствии резонансов четвертого порядка имеет место устойчивость для

большинства (в смысле меры Лебега) начальных условий. Найдены области выполнения формальной устойчивости исследуемых движений. Рассмотрены случаи резонансов четвертого порядка, построены соответствующие резонансные кривые. Проверены критерии устойчивости на этих кривых, в ряде случаев выявлены участки неустойчивости.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-11-00116).

Investigation of the orbital stability of pendulum-type motions of a Kovalevskaya top with a suspension point vibrating horizontally

Belichenko M.V.

MAI, Moscow, Russia

We consider the motion of a heavy rigid body with a mass geometry corresponding to the Kovalevskaya case. The suspension point of the body performs horizontal fast vibrations. We study the pendulum-type motions of a top, in which the body oscillates or rotates around the horizontally located principal axis of inertia, which is either the axis of dynamic symmetry, or the axis from the equatorial plane of inertia. Such motions can occur in a vertical plane containing the vibration axis or in a vertical plane perpendicular to it.

In this work we perform the orbital stability analysis of the described motions with respect to spatial perturbations. The previously obtained results of linear stability analysis are supplemented. It is shown that the pendulum-type motions, for which the dynamic symmetry axis is perpendicular to the vibration axis, are always unstable.

In the case when the axis from the equatorial plane of inertia is perpendicular to the vibration axis for pendulum-type motions, in the regions of linear orbital stability, nonlinear stability analysis is carried out. Degeneracy curves (in terms of the fourth power of the Hamiltonian of the perturbed motion) are constructed. Outside these curves, in the absence of fourth-order resonances, stability takes place for most (in the sense of the Lebesgue measure) initial conditions. Regions of formal stability of the equilibrium under study are found. Cases of fourth-order resonances are also considered, and the corresponding resonance curves are plotted. The stability criteria on these curves are examined; in some cases instability areas are revealed.

The research was carried out at the Moscow aviation Institute (national research University) with a grant from the Russian science Foundation (project №19-11-00116).

Методика построения расчётных сеток с выделением поверхности разрыва для решения кинетических уравнений

Березко М.Э., Никитченко Ю.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из актуальных задач современной механики газов и плазмы является описание сверх- и гиперзвуковых течений в окрестности поверхностей большой кривизны (острых кромок). В этой области течение характеризуется высокой динамической неравновесностью. Использование методов модели сплошной среды приводит к существенным количественным, а в отдельных случаях и качественным погрешностям.

Применение комбинированных кинетико-гидродинамических моделей для описания обтекания острой кромки, также имеет свои особенности. В области порядка кнудсеновского слоя в пространстве скоростей фазового пространства кинетического уравнения имеет место поверхность разрыва. Эта поверхность разделяет молекулярные потоки, сформированные в газовой среде и на поверхности обтекаемого тела. Таким образом, в одной точке геометрического пространства существуют два вида молекулярных потоков, имеющие разные статистики, т.е. функции распределения молекул по скоростям.

Применение традиционных методов решения кинетического уравнения требует весьма сложных интерполяций функции распределения по фазовому пространству. Погрешность таких интерполяций очень велика.

Предложена методика построения расчетной сетки для решения кинетических уравнений методом конечных разностей. Методика демонстрируется на примере плоского течения. Основное содержание методики заключается в следующем:

- В геометрической области фазового пространства строится прогрессирующая прямоугольная сетка с постоянным коэффициентом прогрессии по всем геометрическим координатам. В отличие от традиционных методов, прогрессия распространяется на координату, а не на шаг сетки. Это позволяет группировать узлы сетки на поверхностях разрыва. В плоском течении это поверхность проецируется в линию разрыва.

- В кинетической области пространства скоростей строится полярная (для плоского течения) сетка. Угловая координата сетки соответствует наклону линий разрыва. При этом возникает не характерная для фазового пространства связь между геометрической и скоростной областями.

- Решение кинетического уравнения проводится в интегральной форме.

Использование указанных расчетных сеток приводит к тому, что все узлы траектории молекулярных потоков всегда расположены в одной из областей, разделенных линией разрыва. Вычисление моментов функции распределения, т.е. интегралов по пространству скоростей, не требует дополнительных интерполяций и может проводиться традиционными методами.

Method for constructing computational grids with separation of the discontinuity surface for solving kinetic equations

Berezko M.E., Nikitchenko Yu.A.

MAI, Moscow, Russia

One of the urgent problems of modern gas and plasma mechanics is the description of super- and hypersonic flows in the vicinity of surfaces of high curvature (sharp edges). In this region, the flow is characterized by a high dynamic disequilibrium. The use of continuous medium model methods leads to significant quantitative and, in some cases, qualitative errors.

The use of combined kinetic-hydrodynamic models to describe the flow around a sharp edge also has its own characteristics. In the region of the order of the Knudsen layer in the velocity space of the phase space of the kinetic equation, there is a discontinuity surface. This surface separates the molecular flows formed in the gas medium and on the surface of the streamlined body. Thus, at one point in the geometric space, there are two types of molecular flows that have different statistics, i.e., functions of the distribution of molecules by velocity.

The use of traditional methods for solving the kinetic equation requires very complex interpolations of the distribution function over the phase space. The error of such interpolations is very high.

A method for constructing a computational grid for solving kinetic equations by the finite difference method is proposed. The method is demonstrated by the example of a flat flow. The main content of the methodology is as follows:

- In the geometric region of the phase space, a progressive rectangular grid is constructed with a constant coefficient of progression over all geometric coordinates. Unlike traditional methods, the progression extends to the coordinate, not the grid step. This allows you to group the grid nodes on the surfaces of discontinuity. In a flat flow, this surface is projected into the break line.

- In the kinetic region of the velocity space, a polar (for flat flow) grid is constructed. The angular coordinate of the grid corresponds to the slope of the break lines. In this case, there is a connection between the geometric and velocity regions that is not characteristic of the phase space.

- The solution of the kinetic equation is carried out in integral form.

The use of these computational grids leads to the fact that all nodes trajectories of molecular flows are always located in one of the areas separated by the discontinuity line. Calculation of moments of the distribution function, i.e. integrals over the velocity space, does not require additional interpolations and can be performed using traditional methods.

Алгебра k-однородных экстремальных гиперграфов
Берецкий И.С., Ирбитский И.С., Мокряков А.В., Егорова Е.К.
МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается отдельный класс гиперграфов – k-однородные, они накладывают ограничения на гиперребра: каждое гиперребро инцидентно ровно k вершинам.

Отдельный интерес представляют совершенные и экстремальные однородные гиперграфы. Для каждого гиперграфа можно найти вектор, состоящий из степеней его вершин. Если для одного вектора не существует двух неизоморфных гиперграфов, то такой вектор назовём совершенным, как и однородный гиперграф, ему соответствующий. Если вектор упорядочен по невозрастанию, то он называется экстремальным, как и его гиперграф. Следовательно, каждый совершенный гиперграф, является экстремальным. Экстремальные гиперграфы в свою очередь имеют применение в области криптографии.

Возникает вопрос, как изменится свойство экстремальности и совершенности при логических операциях над гиперребрами экстремальных гиперграфов.

Рассмотрим 2-однородные экстремальные гиперграфы. Для первого гиперграфа имеем вектор степеней – (4,3,3,3,1), для второго – (4,4,2,2,2).

Дополнение: известно, что дополнение экстремального гиперграфа – есть совершенный гиперграф.

Объединение: Вектор получившегося графа – (4,4,3,3,2). Вектор экстремальный, а значит результирующий граф экстремальный.

Пересечение: Вектор получившегося графа – (4,3,2,2,1). Вектор экстремальный, а значит результирующий граф является экстремальным.

XOR: Вектор получившегося графа – (0,1,1,1,1). Получившийся гиперграф не является совершенным.

Эквивалентность: Вектор получившегося графа – (4,3,3,3,3). Мы не получили совершенный вектор: результирующий гиперграф – общего вида.

Штрих Шеффера. Вектор получившегося графа – (0,1,2,2,3). Вектор совершенный, следовательно, граф является совершенным, но не экстремальным.

Стрелка Пирса будет выглядеть аналогично, так как это дополнение к пересечению.

На основе полученного разделим операции на три категории:

- Экстремальность результата сохраняется: объединение, пересечение.

- Экстремальность сменяется совершенностью: дополнение, штрих Шеффера, стрелка Пирса.

- Экстремальность и совершенность не наследуются: эквивалентность, XOR.

Стоит отметить, что если мы не нумеруем вершины гиперграфа, то совершенность и экстремальность суть одно и то же. Следовательно, для построения алгебры на множестве экстремальных гиперграфов можно воспользоваться операциями объединения, пересечения и дополнения. Также возможно построить алгебру в базисах Штриха Шеффера или Стрелки Пирса.

The algebra of k-uniform extremal hypergraphs
Beretskiy I.S., Irbitskiy I.S., Mokryakov A.V., Egorova E.K.
MAI, Moscow, Russia

In this paper, we consider a separate class of hypergraphs - k-uniform, they impose restrictions on the hyperedges: each hyperedge is incident to exactly k vertices.

Perfect and extreme homogeneous hypergraphs are of particular interest. For each hypergraph, you can find a vector consisting of the degrees of its vertices. If for one vector there are no two non-isomorphic hypergraphs, then such a vector is called perfect, as well as the homogeneous hypergraph corresponding to it. If a vector is ordered nonincreasingly, then it is called extreme, like its hypergraph. Therefore, every perfect hypergraph is extreme. Extreme hypergraphs in turn have applications in the field of cryptography.

The question arises of how the property of extremality and perfection will change under logical operations on the hyperedges of extreme hypergraphs.

Consider 2-uniform extremal hypergraphs. For the first hypergraph we have the vector of degrees – (4,3,3,3,1), for the second – (4,4,2,2,2).

Complement: It is known that the complement of an extreme hypergraph is a perfect hypergraph.

Union: The vector of the resulting graph is (4,4,3,3,2). The vector is extreme, which means the resulting graph is extreme.

Intersection: The vector of the resulting graph is (4,3,2,2,1). The vector is extreme, which means the resulting graph is extreme.

XOR: The vector of the resulting graph is (0,1,1,1,1). The resulting hypergraph is not perfect.

Equivalence: The vector of the resulting graph is (4,3,3,3,3). We have not received a perfect vector: the resulting hypergraph is of a general form.

Schaeffer's stroke. The vector of the resulting graph is (0,1,2,2,3). The vector is perfect; hence the graph is perfect, but not extreme.

Pierce's arrow will look the same as it is in addition to the intersection.

Based on what we have obtained, we divide the operations into three categories:

1. The extremity of the result remains: union, intersection.
2. Extremity gives way to perfection: addition, Schaeffer's stroke, Pierce's arrow.
3. Extremity and perfection are not inherited: equivalence, XOR.

It is worth noting that if we do not number the vertices of the hypergraph, then perfection and extremality are one and the same. Hence, to construct an algebra on the set of extreme hypergraphs, one can use the operations of union, intersection, and complement. It is also possible to construct an algebra in Schaeffer Stroke or Pierce Arrow bases.

Оптимальное по быстрдействию движение летательных аппаратов с разделением объектов управления

Бортаковский А.С., Евдокимова Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается задача быстрдействия гибридных систем переменной размерности (ГСНР) [1]. При каждом переключении количество управляемых объектов меняется, при этом, разумеется, изменяется размерность всей системы. Процесс управления заканчивается при достижении группой управляемых объектов заданных терминальных состояний (целей). Задача многоцелевого (или группового) быстрдействия состоит в нахождении управления, обеспечивающего минимальное время достижения всех целей. Число переключений определяется количеством целей, моменты переключений не заданы, а сами переключения управляемы [2]. При этом не исключаются процессы с мгновенными многократными переключениями.

Решение задачи ищется на основе достаточных условий оптимальности. В предлагаемых условиях применяется не функция цены (функция Гамильтона – Якоби – Беллмана), а вспомогательные функции, так называемые, образующие и условные функции цены [1]. Дифференциальные и рекуррентные уравнения для образующих выводятся при помощи модифицированного метода динамического программирования [3]. Применение этих уравнений демонстрируется на академических примерах многоцелевого быстрдействия группы летательных аппаратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-08-00128-а).

1. Бортаковский А.С. Достаточные условия оптимальности гибридных систем переменной размерности // Тр. МИАН, 2020. Том 308. С. 88-100.

2. Евдокимова Е.А. Оптимальное быстрдействие гибридной системы переменной размерности на плоскости // Международная конференция по дифференциальным уравнениям и динамическим системам, г. Суздаль, 3-8 июля 2020. – Тезисы докладов. – Владимир: ООО «Аркаим», 2020. – С.84-85.

3. Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: ИЛ, 1960. – 400 с.

Optimal in time aircraft movement with separation of control objects

Bortakovsky A.S., Evdokimova E.A.

MAI, Moscow, Russia

The paper considers the problem of speed of hybrid systems of variable dimension (HSVD) [1]. With each switch the number of managed objects changes and the dimension of the entire system changes. The control process ends, when a group of managed objects reaches the specified terminal States (goals). The task of multi-purpose (or group) performance is to find a control, that provides the minimum time to achieve all goals. The number of switches is determined by the number of goals, the switching moments are not set, and the switches are controlled [2]. This does not exclude processes with instantaneous multiple switches.

The solution of the problem is sought on the basis of sufficient optimality conditions. The proposed conditions apply not the price function (Hamilton – Jacobi – Bellman function), but auxiliary functions, so-called forming and conditional price functions [1]. Differential and recurrent equations for generators are derived using a modified dynamic programming method [3]. The application of these equations is demonstrated by academic examples of multi-purpose performance of a group of aircraft.

This work was supported by the RFBR (grant no. 18-08-00128-a).

1. Bortakovsky A. S. sufficient conditions for optimality of hybrid systems of variable dimension // Tr. MIAN, 2020. Volume 308. Pp. 88-100.

2. Evdokimova E. A. Optimal control of a hybrid system of variable dimension on a plane // International conference on differential equations and dynamical systems, Suzdal, July 3-8, 2020. – Abstracts. – Vladimir: LLC "Arkaim", 2020. – p. 84-85.

3. Bellman R. Dynamic programming. – M.: IL, 1960. – 400 p.

Алгоритм определения координат источника радиосигнала с помощью антенн, расположенных на лопастях вертолетного винта

Буланов К.Ю., Охотников Д.А., Грибанов А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Работа посвящена проблеме посадки вертолета на посадочную площадку с переменными значениями координат в пространстве при сложных метеоусловиях.

Представлено исследование возможности определения координат источника радиосигнала, расположенного на посадочной площадке, с помощью пеленгаторов, расположенных на лопастях вертолетного винта. Такое расположение радиоприемников позволяет увеличить апертуру антенны, что дает возможность определения направления на источник излучения. Движение антенн в пространстве приводит к появлению доплеровского смещения сигнала, которое дает возможность измерения дальности до источника радиосигнала.

Пассивная система определения направления на источник излучения имеет следующие преимущества:

- Возможность исключения амплитудно-модулированных шумов, так как информация о направлении содержится в частотно-модулированном сигнале.
- Лучшее отношение сигнал-шум в момент определения пеленга, чем в следящих системах.
- Высокое время реакции, определяемое периодом одного оборота приемной антенны.
- Высокая эффективность с увеличением частоты, так как доплеровский сдвиг увеличивается.
- Возможность определения пеленга между движущимися объектами, а также сохранения места в строю ЛА.

Данная система позволяет решать ряд сложнейших авиационных задач, таких как обеспечение навигации, работы с радиомаяками, посадки в сложных метеоусловиях, а также задач поисково-спасательных работ.

В работе рассмотрена функция зависимости доплеровского смещения частоты сигнала, принятого антенной, от направления на источник радиосигнала и дальности до него.

Показаны графики изменения доплеровского смещения частоты от дальности до источника радиосигнала. Представлены временной и спектральный методы измерения дальности до источника радиосигнала.

Результаты работы подтверждают, что пассивная вертолетная система определения координат с размещением приемных антенн на лопастях винта позволяет измерять азимут, угол места и дальность до наземного источника излучения с одной позиции.

Algorithm for determining the coordinates of the radio signal source using antennas located on the helicopter rotor blades

Bulanov K.Y., Okhotnikov D.A., Griбанov A.S.

MAI, Moscow, Russia

The paper is devoted to the problem of landing a helicopter on a landing pad with variable values of coordinates in space under difficult weather conditions.

A study of the possibility of determining the coordinates of the radio signal source located on the landing site using direction finders located on the helicopter rotor blades is presented. This arrangement of radio receivers allows you to increase the aperture of the antenna, which makes it possible to determine the direction of the radiation source. The antenna moves in space leads to a Doppler shift of the signal, which enables measurement of distance to the radio source.

A passive system for determining the direction of the radiation source has the following advantages:

- The possibility of excluding amplitude-modulated noise, since the direction information is contained in the frequency-modulated signal.
- Better signal-to-noise ratio at the time of bearing determination than in tracking systems.
- High response time determined by the period of one turn of the receiving antenna.
- High efficiency with increasing frequency, as the Doppler shift increases.
- The ability to determine the bearing between moving objects, as well as save space in the formation of the aircraft.

This system allows you to solve a number of complex aviation tasks, such as providing navigation, working with radio beacons, landing in difficult weather conditions, as well as search and rescue tasks.

In this paper, we consider the function of the dependence of the Doppler frequency shift of the signal received by the antenna on the direction to the source of the radio signal and the distance to it. Graphs of changes in the Doppler frequency shift from the range to the source of the radio signal are shown. Time and spectral methods for measuring the distance to the radio signal source are presented.

The results of the work confirm that the passive helicopter coordinate system with the placement of receiving antennas on the propeller blades allows you to measure the azimuth, elevation angle and distance to the ground radiation source from one position.

Численное и экспериментальное моделирование ударной прочности трёхслойных балок с сетчатым наполнителем

¹Волков А.В., ²Бабайцев А.В.

¹ИИПРИМ РАН, ²МАИ, г. Москва, Россия

В работе сравниваются результаты численного расчёта и экспериментальных ударных испытаний трёхслойных конструкций с сетчатым облегчённым наполнителем. Конструкции изготавливаются методом трехмерной печати по технологии послойного лазерного синтеза из полиамида. Для численного моделирования используется метод конечных элементов. Структура наполнителя – это пантографический механический метаматериал. Это конструкция, в которой два ряда стержней расположены на небольшом расстоянии друг от друга. Для моделирования эквивалентных (усреднённых) характеристик таких материалов часто недостаточно использовать классическую теорию упругости. Нужно учитывать нелокальности в напряжённо-деформированном состоянии тел. Метод конечных элементов позволяет относительно просто моделировать напряжённо-деформированное состояние в таких конструкциях.

Рассмотрены четыре варианта заполнителя. В первом варианте два ряда не взаимодействуют друг с другом. Во втором обеспечивается передача усилий между рядами. В третьем – передача усилий и моментов. Для сравнения дано численное и экспериментальное решение для конструкции с накрест пересекающимися стретжнями.

Такие конструкции эффективно поглощают ударную энергию и могут быть перспективными для создания ударопрочных конструкций.

Образцы из полиамида ставились на 2 опоры и по ним наносился удар маятниковым копром. Эксперимент моделировался численно. Для полиамида известны не все характеристики, необходимые для моделирования разрушения. Неизвестные характеристики подбирались из результатов эксперимента. Сравнивалась энергия, поглощённая в численном расчёте и эксперименте. Исходя из полученной разницы, корректировались характеристики материала в численном эксперименте. И так до тех пор, пока энергия и характер разрушения не совпали.

Numerical modelling of impact strength for three-layer beams with grid cores

¹Volkov A.V., ²Babaiytsev A.V.

¹IAM RAS, ²MAI, Moscow, Russia

The paper compares the results of numerical calculations and experimental impact tests with three-layer structures with lightweight grid filler. The structures are made using layer-by-layer laser synthesis from polyamide. The finite element method is used for numerical modeling. The filler structure is a pantographic mechanical metamaterial. This is a design in which two rows of rods are spaced at a short distance from each other. To model the equivalent (average) characteristics of such materials, it is often not enough to use classical elasticity theory. It is necessary to take into account the nonlocality in the stress-strain state of bodies. It is often more easy to simulate the stress-strain state in such structures using finite-element method.

Four options for a filler are considered. In the first variant, the two rows do not interact with each other. In the second structure there is a transfer of forces between the rows. In the third structure – the transfer of forces and bending moments. For comparison, a numerical and experimental solution is given for a structure with penetrating rods.

Such structures effectively absorb impact energy and can be promising for creating impact-resistant structures.

Samples made of polyamide were placed on 2 supports and struck by a pendulum head. The experiment was simulated numerically. For polyamide, not all of the characteristics required for fracture simulation are known. Unknown characteristics were selected from the results of the experiment. The energy absorbed in the numerical calculation and experiment was compared. Based on the obtained difference, the characteristics of the material were corrected in a numerical experiment. And so on until the energy and the fracture coincided.

Технология автоматического совмещения изображений, полученных космическими радиолокаторами с синтезированной апертурой антенны дистанционного зондирования Земли

Вьюков Н.А., Елизаветин И.В., Савченко Б.С., Соболев А.В.

АО «Ракурс», г. Москва, Россия

Автоматизация совмещения радиолокационных изображений (РЛИ) является важной практической задачей, решение которой в значительной мере упрощит целый ряд сложных процессов обработки. Так, например, актуальной задачей является уточнение привязки РЛИ по эталонному изображению, или создание стека изображений для последующего анализа изменений сцены. Поскольку, в данный момент совмещение изображений производится вручную, автоматизация данной процедуры позволила бы сильно сократить временные затраты.

Все алгоритмы совмещения изображений можно разделить на 3 этапа:

- Предобработка.
- Выделение характерных признаков.
- Нахождение смещения.

На данный момент существуют 3 основных подхода к решению задачи совмещения изображений. Название подходов раскрывает основные признаки, по которым будет осуществляться совмещение, это совмещение по: точкам, контурам и областям. В силу специфики РЛИ первые два подхода редко реализуемы на практике, так как из-за характерного спекл-шума становится сложно выделить характерные точки или контуры. Последний же подход предоставляет большой интерес в рамках решения поставленной задачи.

В настоящем докладе представлен обзор реализованного алгоритма совмещения изображений по областям. Для нахождения наилучшего совмещения был выбран метод поиска максимума функции взаимной информации. Для оптимизации быстродействия и улучшения качества привязки больших (более 4 тыс. на 4 тыс. пикселей) изображений предложен алгоритм совмещения по частям изображения.

Валидация результатов работы алгоритма была проведена на данных космического аппарата дистанционного зондирования земли TerraSAR-X. Для проведения испытаний алгоритма были использованы изображения разных размеров и с разным характером местности. В городских или смешанных сценах алгоритм показал устойчивый результат совмещения с точностью в пределах 1 пикселя. Для природных сцен, при отсутствии характерных объектов на снимке, качество совмещения снижается, в виду сложности выделения ключевых признаков на таких изображениях.

В перспективе предполагается разработка алгоритмов оценки изменений сцены, на основе полученного стека совмещенных изображений.

Approaches to automatic registration of images obtained by space-based radars on Earth observation satellites

Vyukov N.A., Elizavetin I.V., Savchenko B.S., Sobolev A.V.
JSC "Racurs", Moscow, Russia

Automatic registration of synthetic-aperture radar (SAR) images is an important practical task, the solving of which will greatly simplify a number of complex processing operations. For example, an urgent task is to clarify the alignment of SAR images using a reference image, or create a stack of images for change detection. In current practice, the alignment of images is done manually, the automation of this procedure would greatly reduce the time spent.

All of automatic registration algorithms can be divided into 3 stages: preprocessing, feature extraction, finding the offset. Now, there are three main approaches to solving the problem of automatic registration. The name of the approaches reveals the main features by which the registration will be carried out, this is registration by points, contours and regions. Due to the specific nature of radar images, the first two approaches are rarely implemented in practice. Since due to the characteristic speckle noise, it becomes difficult to identify specific points or contours. The latter approach presents great interest in terms of solving the problem.

Presented report provides an overview of the implemented automatic registration algorithm by regions. To find the best registration, the method of searching for the maximum of the mutual information function was chosen. To optimize the performance and improve the quality of results for large (more than 4 thousand by 4 thousand pixels) images, an algorithm for registration by parts of the image is proposed.

The validation of the results of the algorithm was carried out with use of TerraSAR-X imaging radar Earth observation satellite data. To test of the algorithm accuracy the images with different sizes and with different terrain were used. In urban or mixed scenes, the algorithm showed a stable registration result with an accuracy about 1 pixel. For natural scenes, in the absence of specific objects in the image, the quality of alignment decreases, due to the difficulty in identifying key features in such images.

In the future, it is planned to develop algorithms for assessing scene changes, based on the resulting stack of registered images.

Оценка точности приближения двухчастотной модели движения полюса Земли к данным наблюдений

Вэй Я.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Колебательный процесс земного полюса не является полностью регулярным. Для прогнозирования его положения часто предлагается использовать численные методы, например, на основе регрессионных моделей. Однако такой подход учитывает регулярные эффекты лишь частично – в рамках определенного приближения, что отрицательно влияет на точность долгосрочного прогноза и влияет на автономность модели – функционирование модели без корректировки ее параметров.

В основу численно-аналитического подхода может быть положена детерминированная модель движения полюса, полученная с помощью уравнений вращения деформируемой Земли относительно центра масс. В силу сравнительно медленного изменения характеристик колебаний, параметры в такой модели принимаются квазипостоянными на периоде модуляции основных гармоник (чандлеровской и годичной). Тогда наблюдаемый процесс будет охарактеризован небольшим числом средних параметров. Коррекцией квазипостоянных параметров модели такой подход можно уточнить.

В работе получено условие перехода движения полюса из одного режима в другой. Полученное условие позволяет сохранить точность аппроксимации и прогноза движения полюса в рамках малопараметрической двухчастотной модели после смены колебательного режима. Предложенный способ позволяет распространить приближение двухчастотной модели движения полюса к данным наблюдений на весь временной интервал.

Estimation of the precision of approximation of the two-frequency model of the earth's pole motion to the observational data

Wai Y.S.

MAI, Moscow, Russia

The oscillatory process of the earth's pole is not completely regular. To predict its position, it is often proposed to use numerical methods, for example, based on regression models. However, this approach takes into account the regular effects only partially - within the framework of a certain approximation, which negatively affects the accuracy of the long-term forecast and affects the autonomy of the model - the functioning of the model without adjusting its parameters.

The numerical-analytical approach can be based on a deterministic model of the pole motion, obtained using the equations of rotation of the deformable Earth relative to the center of mass. Due to the relatively slow change in the characteristics of the oscillations, the parameters in such a model are assumed to be quasi-constant during the modulation period of the fundamental harmonics (Chandler and annual). Then the observed process will be characterized by a small number of average parameters. This approach can be refined by correcting the quasi-constant parameters of the model.

In this work, the condition for the transition of the pole motion from one mode to another is obtained. The obtained condition makes it possible to preserve the accuracy of the approximation and forecast of the pole motion within the framework of the low-parameter two-frequency model after changing the oscillatory mode. The proposed method makes it possible to extend the approximation of the two-frequency model of the pole motion to the observational data over the entire time interval.

Некоторые вопросы моделирования 3D-печати авиационных конструкций из композиционных материалов

Денискина Г.Ю., Биткоков Ю.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В докладе рассматриваются вопросы моделирования 3D-печати, в части нахождения оптимальных схем укладки волокон, при изготовлении авиационных конструкций из композиционных материалов, армированных непрерывными волокнами. В качестве целевой функции оптимизации выбран один из критериев разрушения композита. Для ускорения

процесса многократного решения системы дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих напряженно-деформированное состояние конструкции, предлагается вычислительный алгоритм, основанный на вейвлетах, построенных через схемы подразделения. В настоящее время в авиационной промышленности широкое применение находят композиционные материалы (КМ), состоящие из армирующего материала и связующего. Геометрия укладки волокна определяется самими уравнениями механики КМ в виде некоторой (неизвестной) локальной ортогональной системы координат. Предлагается использовать биортогональные вейвлеты, построенные с использованием схем подразделений: (1) при использовании схемы подъема можно управлять свойствами самих вейвлетов; (2) для достаточно точного решения самих уравнений требуется небольшое количество итераций. Вейвлеты по сравнению с другими базисными функциями обладают рядом преимуществ. (1) Использование схемы подъема позволяет строить вейвлеты с заданными свойствами: гладкость, компактный носитель, симметрия, нужное число нулевых моментов, обращение в нуль на границе области функций, соответствующих не граничным вершинам сетки. (2) Высокая скорость убывания вейвлет-коэффициентов, что позволяет, ограничиваясь небольшим количеством слагаемых в разложении, получать достаточно точные приближения функции. (3) Наличие быстрых каскадных алгоритмов нахождения коэффициентов разложения функции по вейвлетам. В результате выполненных исследований разработана методика применения биортогональных вейвлетов в приближенном решении уравнений в частных производных. Для задания локальной системы координат предлагается использовать аналитические функции, которые будут строиться с использованием известных формул Дини и Чизотти всего лишь заданием направления укладки волокна на границе изделия. В качестве критерия оптимизации для выбора траекторий укладки волокон можно выбрать любой из критериев разрушения КМ. Разработанные методика и алгоритмы реализованы в CAD/CAE-системе, написанной с использованием языка программирования Python.

Some issues of modeling of 3D printed aircraft structures made of composite materials

Deniskina G.Y., Bitukov Y.I.

MAI, Moscow, Russia

Some issues of 3D printing modeling aimed at finding optimal fiber allocation schemes in the manufacture of aircraft structures made of composite materials and reinforced with continuous fibers are considered in the report. As the optimization of the objective function one of the criteria for the destruction of the composite was chosen. For the process acceleration of multiple solution of the system of partial differential equations describing the stress-strain state of the structure, a computational algorithm based on wavelets built through subdivision schemes is proposed. At the present time in the high-tech areas of industries composite materials (CM) are widely spread consisted of reinforcing material and a binder. The geometry of the fiber placement is determined by the equations of CM mechanics themselves in the form of unknown local orthogonal coordinate system. To achieve this goal, it is proposed to use biorthogonal wavelets constructed by using subdivision schemes: (1) when using the lifting scheme, you can control the properties of the wavelets themselves; (2) for a sufficiently accurate solution of the equations themselves, a small number of iterations is required. Wavelets have a number of advantages over other basic functions. (1) The usage of the lifting scheme allows one to construct wavelets with the given properties: smoothness, compact support, symmetry, the required number of zero moments, vanishing on the boundary of the domain of functions corresponding to non-boundary mesh vertices. (2) The high rate of decay of the wavelet coefficients, which allows, limiting themselves to a small number of terms in the expansion, to obtain sufficiently accurate approximations of the function. (3) The presence of fast cascade algorithms for finding the coefficients of the wavelet expansion of the function. One section is devoted to the development of the technique for using biorthogonal wavelets in the approximate solution of partial differential equations. To set the local coordinate system, it is proposed to use analytical functions that will be built at the usage of well-known Dini and Chizotti formulas just by specifying the direction of fiber laying at the product boundary. Any

of the CM fracture criteria can be selected as an optimization criterion for choosing fiber placement paths. The proposed techniques are implemented in the CAD/CAE-system for constructing such structures written with the usage of the Python © programming language.

Метод нумерации экстремальных графов целыми числами

Егорова Е.К., Гольцова Т.Ю., Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Для каждого графа можно получить вектор своих вершин. Экстремальным назовём вектор, который упорядочен по невозрастанию и существует только один граф, соответствующий этому вектору. Такой граф также назовём экстремальным. Применение экстремальных графов возможно в области криптографии, что предполагает быстрое нахождение соответствующих объектов.

Каждый экстремальный граф имеет матрицу смежности следующего вида:

1. На главной диагонали расположены 0.
2. Кроме главной диагонали нет ни одной ячейки с 1 расположенной правее или ниже 0.
3. Кроме главной диагонали нет ни одной ячейки с 0 расположенной левее или выше 1.

Соответственно, можно сказать, что домены нулей и единиц строго разделены.

Известно, что количество n -вершинных экстремальных графов равно 2 в степени n . Логично предположить, что каждому экстремальному графу можно установить в соответствие n -битное целое число.

Предложим следующий быстрый алгоритм определения экстремального графа по произвольному числу.

1. Установим $i = 0$, $j = n$ и $k = n-1$.
2. Возьмём k -ый бит числа.
3. Если бит равен нулю, то уменьшаем j на 1, иначе увеличиваем i на 1.
4. Если i увеличилось, то в матрице нужно заполнить все ячейки в i -ой строке от столбца $i+1$ до столбца j включительно, за исключением главной диагонали.
5. Если $k > 0$, то уменьшаем k на 1 и переходим к шагу 2.
6. Сделаем матрицу симметричной относительно главной диагонали.
7. Матрица экстремального графа получена.

Следует заметить, что вполне несвязный граф и полный граф являются экстремальными, и при выполнении указанного алгоритма пустой граф будет иметь номер 0, а полный граф будет иметь номер 2 в степени n без единицы. Кроме того, легко заметить, что максимальным ненулевым битом будет иметь номер $n-1$ минус количество изолированных вершин.

Данный алгоритм легко реализовать, что и было сделано в программном комплексе.

Method for numbering extreme graphs with integers

Egorova E.K., Goltsova T.Yu., Mokryakov A.V.

MAI, Moscow, Russia

For each graph, you can get a vector of its vertices. An extreme is a vector that is ordered nonincreasingly and there is only one graph corresponding to this vector. We will also call such a graph extreme. The use of extreme graphs is possible in the field of cryptography, which implies a quick finding of the corresponding objects.

Each extremal graph has an adjacency matrix of the following form:

1. The main diagonal has 0.
 2. Apart from the main diagonal, there are no cells with 1 located to the right or below 0.
 3. Apart from the main diagonal, there is no cell with 0 located to the left or above 1.
- Accordingly, we can say that the domains of zeros and ones are strictly separate.

It is known that the number of n -vertex extreme graphs is equal to 2 to the power n . It is logical to assume that each extreme graph can be assigned an n -bit integer.

We propose the following fast algorithm for determining an extremal graph from an arbitrary number.

1. Set $i = 0$, $j = n$ and $k = n-1$.

2. Take the k bit of the number.
3. If the bit is equal to zero, then we decrease j by 1, otherwise we increase i by 1.
4. If i has increased, then in the matrix it is necessary to fill in all cells in the i row from column $i + 1$ to column j inclusive, except for the main diagonal.
5. If $k > 0$, then decrease k by 1 and go to step 2.
6. Let's make the matrix symmetric about the main diagonal.
7. The matrix of the extremal graph is obtained.

It should be noted that a completely disconnected graph and a complete graph are extreme, and when the indicated algorithm is executed, the empty graph will have number 0, and the complete graph will have number 2 to the power n without one. Also, it is easy to see that the maximum non-zero bit will be $n-1$ minus the number of isolated vertices.

This algorithm is easy to implement, which was done in the software.

Модель механодиффузии для сплошного ортотропного цилиндра с учетом релаксации диффузионных процессов

Зверев Н.А., Земсков А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящей работе рассмотрена одномерная полярно-симметричная задача, целью которой являлось определение напряженно-деформированного состояния однородного ортотропного сплошного многокомпонентного цилиндра бесконечной длины, находящегося под действием нестационарных объемных возмущений и некоторым образом зафиксированного в пространстве. В математическую постановку задачи входят: N линейных неоднородных дифференциальных уравнений массопереноса в частных производных, дифференциальное уравнение движения упругого твердого тела, решаемого совместно с уравнениями массопереноса, а также краевые условия, замыкающие постановку задачи. Начальные условия принимаются равными нулю.

Учет времени релаксации диффузионных процессов, протекающих в изучаемом теле, означает конечную скорость распространения диффузионных возмущений. На сравнительно небольших временах влияние данного параметра особенно заметно.

Для решения задачи был использован метод функций Грина [1], согласно которому искомые функции механического перемещения тела и приращения концентрации были представлены в интегральном виде как свертки объемных функций Грина задачи механодиффузии с функциями, задающими объемные возмущения [2,3]. Для нахождения самих функций влияния применялись интегральные преобразования Лапласа по времени, а также разложение искомых функций в ряды по специальным функциям Бесселя. Обращение преобразования Лапласа осуществлялось аналитически с помощью вычетов и таблиц операционного исчисления. Был выполнен тестовый расчет для двухкомпонентного материала, в ходе которого были найдены все искомые величины, необходимые для описания напряженно-деформированного состояния данного тела.

Литература:

1. Zemskov A.V., Tarlakovskii D.V. Polar-symmetric problem of elastic diffusion for isotropic multi-component plane // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. Vol. 158. No 1. 012101, DOI: 10.1088/1757-899X/158/1/012101.
2. Земсков А.В., Тарлаковский Д.В. Полярно-симметричная задача упругой диффузии для многокомпонентной среды // Проблемы прочности и пластичности. 2018. № 80 (1). с. 5-14.
3. Зверев Н.А., Земсков А.В. Постановка нестационарной задачи упругой диффузии для изотропного сплошного цилиндра // Проблемы безопасности на транспорте: материалы IX Международной научно-практической конференции. Гомель: БелГУТ, 2019. Ч. 2. С. 212-214.

Elastic diffusion model for an orthotropic solid cylinder taking into account the diffusion relaxation effect

Zverev N.A., Zemskov A.V.

MAI, Moscow, Russia

In this paper, a one-dimensional polar-symmetric problem is considered, the purpose of which is to determine the stress-strain state of a homogeneous orthotropic solid multicomponent cylinder of infinite length, which is under the action of unsteady volumetric perturbations and is somehow fixed in space. The mathematical formulation of the problem includes: N linear inhomogeneous differential equations of mass transfer in partial derivatives, the differential equation of motion of an elastic rigid body, solved together with the equations of mass transfer, as well as boundary conditions that close the formulation of the problem. The initial conditions are taken equal to zero.

Taking into account the relaxation time of diffusion processes occurring in the studied body means the finite speed of propagation of diffusion perturbations. At relatively short times, the effect of this parameter is especially noticeable.

To solve the problem, the method of Green's functions was used [1], according to which the sought-for functions of the mechanical displacement of the body and the increment of concentration were presented in integral form as convolutions of the volume Green's functions of the mechanodiffusion problem with functions specifying volume perturbations [2,3]. To find the influence functions themselves, the integral Laplace transforms in time were used, as well as the expansion of the sought functions into series in terms of special Bessel functions. The Laplace transform was inverted analytically using deductions and tables of operational calculus. A test calculation was performed for a two-component material, in the course of which all the required quantities were found, which are necessary to describe the stress-strain state of a given body.

References:

1. Zemskov A.V., Tarlakovskii D.V. Polar-symmetric problem of elastic diffusion for isotropic multi-component plane // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. Vol. 158. No 1. 012101, DOI: 10.1088/1757-899X/158/1/012101.

2. Zemskov A.V., Tarlakovsky D.V. Polar-symmetric problem of elastic diffusion for a multicomponent medium // Problems of Strength and Plasticity. 2018. No. 80 (1). from. 5-14.

3. Zverev N.A., Zemskov A.V. Statement of the non-stationary problem of elastic diffusion for an isotropic solid cylinder // Problems of safety in transport: materials of the IX International scientific-practical conference. Gomel: BelSUT, 2019. Part 2. P. 212-214.

Влияние начального состава и температуры на характеристики детонационных процессов в смеси метан-воздух

Зыонг Минь Дык

МАИ, г. Москва, Россия

В последнее время в связи с созданием перспективных высокоэффективных энергосиловых установок, актуальным является вопрос исследования детонационного режима горения. Для организации эффективного рабочего процесса важно изучение детонации при повышенных начальных температурах и давлениях, а также при изменении элементного состава топлива.

В настоящей работе рассмотрены характеристики равновесных детонационных адиабат метан-воздушных горючих смесей в широком диапазоне изменения коэффициента избытка окислителя и начальной температуры. Была составлена математическая модель [1, 2], включающая законы сохранения массы, импульса и энергии, записанные в виде соотношений Ренкина-Гюгонио, дополненные условиями термодинамического равновесия многофазных систем, условиями сохранения элементного состава, условием электронейтральности, а также термическим и калорическим уравнениями состояния для смеси совершенных газов. Разработанные вычислительные алгоритмы, в том числе, позволяют рассчитывать концентрации конденсированных фаз и ионов.

При варьировании начальной температуры (от 298,15K до 1000K) и коэффициента избытка окислителя α (от 0,4 до 5) было установлено, что максимальная скорость распространения

фронта детонационной волны в метано-воздушной горючей смеси составляет около 1820 м/с. При росте начальной температуры максимум скорости детонации Чепмена-Жуге перемещается в сторону уменьшения коэффициента избытка воздуха. При этом ее значение незначительно уменьшается (меньше чем на 5%). При стандартных условиях максимум скорости детонации Чепмена-Жуге достигается при $\alpha \approx 0.9$.

1. В.Ю.Гидаспов, Н.С.Северина. Некоторые задачи физической газовой динамики. М.: Изд-во МАИ, 2016.-196 с.

2. Зьонг Минь Дык, В.Ю.Гидаспов. Вычислительный алгоритм расчета состава продуктов сгорания углеводородных топлив при наличии конденсированной фазы. Труды МАИ. 2020. № 112.

Influence of the initial composition and temperature on the characteristics of detonation processes in a methane-air mixture

Duong M.D.

MAI, Moscow, Russia

Recently, in connection with the creation of promising high-efficiency power plants, the issue of studying the detonation mode of combustion is relevant. To organize an efficient workflow, it is important to study detonation at elevated initial temperatures and pressures, as well as when the elemental composition of the fuel changes.

In this work, we consider the characteristics of the equilibrium detonation adiabat of methane-air combustible mixtures in a wide range of variation of the oxidizer excess coefficient and the initial temperature. A mathematical model was compiled [1, 2], including the laws of conservation of mass, momentum and energy, written in the form of Rankine-Hugoniot relations, supplemented by the conditions of thermodynamic equilibrium of multiphase systems, conditions for the conservation of elemental composition, the condition of electroneutrality, as well as thermal and caloric equations of state for mixtures of perfect gases. The developed computational algorithms allow calculating the concentrations of condensed phases and ions.

When varying the initial temperature (from 298.15 K to 1000 K) and the coefficient of excess of the oxidizer α (from 0.4 to 5), it was found that the maximum velocity the detonation wave front in the methane-air fuel mixture is about 1820 m/s. As the initial temperature increases, the maximum Chapman-Jouguet detonation rate moves towards a decrease in the excess air coefficient. At the same time, its value decreases slightly (by less than 5%). Under standard conditions, the maximum Chapman-jouget detonation rate is reached at $\alpha \approx 0.9$.

1. V.Y. Gidaspov, N.S. Severina. Some problems of physical gas dynamics, Moscow: MAI, 2016.-196 p.

2. Duong Minh Duc, V.Y. Gidaspov. Computational algorithm for calculating the composition of the combustion products of hydrocarbon fuels in the presence of a condensed phase. Trudy MAI. 2020. No. 112.

Метод оценивания асимптотических множеств управляемости двумерных линейных дискретных систем с ограниченным управлением

Ибрагимов Д.Н., Берендакова А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В докладе обсуждается задача построения для автономной линейной двумерной дискретной системы с ограниченным управлением предельного множества 0-управляемости, то есть множества тех начальных состояний, из которых можно перевести систему в начало координат за произвольное конечное число шагов посредством выбора допустимого управления. Методы оценивания и построения предельных множеств 0-управляемости используются, например, для анализа дискретных систем, для определения разрешимости задачи быстрогодействия, проверки на совместность ограничений на терминальное состояние.

Рассматриваются необходимые и достаточные условия, при которых предельные множества 0-управляемости линейной дискретной системы являются ограниченными. Задача анализа сводится исключительно к вычислению собственных векторов и собственных значений матрицы системы. Доказано, что асимптотическое множество 0-управляемости

ограниченно тогда и только тогда, когда все собственные значения матрицы системы по модулю строго больше единицы. При этом его структура во многом зависит от нормальной жордановой формы матрицы.

Отдельно рассматриваются случаи двух некратных действительных собственных значений, одного собственного значения кратности два, двух комплексно-сопряженных собственных значений матрицы системы. Неограниченные асимптотические множества 0-управляемости удаётся построить точно в явном виде, и они представляют собой либо всю фазовую плоскость, либо полосу симметричную относительно начала координат. В случае, когда асимптотическое множество 0-управляемости является ограниченным, удаётся построить его внешнюю оценку в виде многогранника либо эллипса.

Эффективность разработанных методов продемонстрирована на примере построения предельного множества 0-управляемости для системы управления ориентацией аэростата. В качестве физической модели аэростата рассмотрено твёрдое тело, подвешенное на струне и способное совершать вращательные движения. Предполагается, что модель подвержена вязкому трению воздуха, моменту, связанному с упругостью струны. Управление осуществляется при помощи двух противоположно направленных вентиляторных двигателей ограниченной мощности.

Method of estimating the asymptotic controllability sets of two-dimensional linear discrete-time systems with limited control

Ibragimov D.N., Berendakova A.V.

MAI, Moscow, Russia

The report discusses the problem of constructing a limit set of 0-controllability for an autonomous linear two-dimensional discrete-time system with limited control, that is, the set of those initial states from which the system can be transferred to the origin in an arbitrary finite number of steps by selecting an acceptable control. Methods of estimating and constructing limit sets of 0-controllability are used, for example, for analyzing discrete-time systems, for determining the solvability of the speed-in-action problem, and for checking the compatibility of restrictions on the terminal state.

Necessary and sufficient conditions, under which the limit sets of 0-controllability of a linear discrete system are bounded, are considered. The problem of analysis is expressed through the calculating the eigenvectors and eigenvalues of the system matrix. It is proved that the asymptotic set of 0-controllability is bounded if and only if all the eigenvalues of the system matrix modulo strictly greater than one. However, its structure largely depends on the normal Jordan form of the matrix.

The cases of two non-multiple real eigenvalues, one eigenvalue of multiplicity two, and two complex-conjugate eigenvalues of the system matrix are considered separately. Unbounded 0-controllability asymptotic sets can be constructed exactly explicitly, and they represent either the entire phase plane or a band symmetric with respect to the origin. In the case when the 0-controllability asymptotic set is bounded, it is possible to construct its external estimate in the form of a polyhedron or ellipse.

The efficiency of the developed methods is demonstrated by the example of constructing a limit set of 0-controllability for the aerostat orientation control system. A solid body suspended on a string and capable of performing rotational movements is considered as a physical model of a aerostat. It is assumed that the model is subject to viscous air drag, a moment caused by string elasticity. Control is carried out using two oppositely directed fan motors of limited power.

Применение внутрисетевого анализа в задаче выбора гиперпараметров сверточной нейронной сети

Игонин Д.М., Колганов П.А., Тюменцев Ю.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время значительные усилия исследователей направлены на создание методов и средств искусственного интеллекта, а также на применение их для решения разнообразных прикладных проблем. Современная трактовка искусственного интеллекта в значительной

степени основывается на идеях машинного обучения. Наиболее популярным и востребованным сейчас является глубокое обучение, применяемое к искусственным нейронным сетям различных классов. Одним из таких классов являются сверточные нейронные сети (СНС), значимость которых для практики определяется тем, что они являются инструментом для решения большого числа разнообразных прикладных задач, прежде всего, задач машинного зрения.

Как известно, формирование СНС, предназначенной для решения некоторой прикладной задачи, предполагает выбор значений параметров, определяющих архитектуру сети (гиперпараметров), а также поиск значений настраиваемых параметров сети (синаптических весов). Вторая из этих двух задач представляет собой не что иное, как обучение сети. Перед тем как приступить к решению данной задачи, требуется тем или иным способом выбрать состав гиперпараметров сети и зафиксировать их значения. Таким образом, можно сказать, что гиперпараметры – это параметры сети, значения которых устанавливаются до начала процедуры ее обучения, а обычные параметры – это те параметры, значения которых отыскиваются путем обучения сети.

Предлагаемый подход к подбору значений гиперпараметров СНС основан на получении и обработке информации о прохождении через обученную сеть некоторого набора паттернов. Эта информация включает следующие элементы:

- Зависимость количества используемых параметров сети в каждом слое для всех представленных паттернов.
- Распределение параметров сети каждого слоя между всеми паттернами.
- Визуализация прохождения каждого паттерна через каждый слой сети.

Intra-network analysis in the problem of selecting hyperparameters of a convolutional neural network

Igonin D.M., Kolganov P.A., Tiumentsev Yu.V.
MAI, Moscow, Russia

Currently, researchers' significant efforts are aimed at creating methods and tools of artificial intelligence and their application to a variety of applied problems. The modern interpretation of artificial intelligence is based mainly on ideas of machine learning. Deep learning, applied to different classes' artificial neural networks, is the most popular and in-demand now. Convolutional neural networks (CNN) are one of such classes. The importance of which for practice is determined by the fact that they are a tool for solving many applied tasks, primarily, the tasks of machine vision.

As we know, the formation of the CNN, designed to solve some application problem, involves the choice of values of parameters that determine the architecture of the network (so-called hyperparameters), as well as search for values of configurable network parameters (synaptic weights). The second of these two tasks are nothing more than network learning. Before starting to solve this task, we need to choose in one way or another the set of hyperparameters of the network and lock their values. Thus, we can say that hyperparameters are network parameters whose values are set before the learning process starts, and "usual" parameters are those parameters whose values are determined by learning the network.

The proposed approach to searching for the CNN hyperparameters' values is based on the getting and processing of information about the passing a specific set of patterns through the trained network. This information includes the following elements:

- The dependence of the number of network parameters used in each layer for all the presented patterns.
- Distribution of network parameters of each layer between all patterns.
- Visualization of the passage of each pattern through each network layer.

Методы построения k -однородных гиперграфов по вектору степеней своих вершин

Ирбитский И.С., Беретский И.С., Егорова Е.К., Мокряков А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе приводятся алгоритмы построения k -однородного гиперграфа по вектору степеней своих вершин. k -однородный гиперграф – это, с одной стороны обобщение графа, а с другой стороны отдельный класс гиперграфов. Его особенность состоит в том, что каждое ребро в отличие от графа инцидентно ровно k вершинам.

Существует известный алгоритм построения для таких объектов по произвольному вектору, но у него есть ряд недостатков.

1. В случае неудачи он не даёт однозначного ответа на вопрос о возможности восстановления гиперграфа.

2. Его реализация недостаточно проста.

3. Скорость работы алгоритма также оставляет желать лучшего.

По этим причинам было решено разработать альтернативные алгоритмы построения k -однородных гиперграфов.

Сначала рассмотрим жадный алгоритм.

Данный алгоритм составляет симплекс из вершин, имеющих наибольшие степени, после чего проверяется, есть ли уже в гиперграфе такой симплекс. Если нет, он добавляется в гиперграф; при наличии такого симплекса, ищется возможность составить симплекс, которого в данный момент в гиперграфе ещё нет. В общем случае алгоритм работает (если гиперграф возможно восстановить из вектора, то он гарантированно будет восстановлен), однако, имеет высокую сложность и, как следствие, большое время работы на больших векторах.

Плюсом алгоритма является гарантия восстановления в n -комплекс, если для входного вектора это возможно. Минусом, очевидно, медленная скорость и, как следствие, большое время работы алгоритма.

Перейдём к редуционному алгоритму. Он работает следующим образом: сначала вектор степеней вершин сортируется по невозрастанию. Далее, для k -однородного гиперграфа фиксируются $(k-1)$ вершин со старшими степенями, а все оставшиеся вершины используются для составления симплексов, добавляемых в гиперграф. При обнулении старшей вершины происходит сортировка вектора, и процесс продолжается до тех пор, пока вектор не обнулится.

Алгоритм работает для случаев обычного графа и в основном для k -однородного гиперграфа (каждое гиперребро объединяет k вершин). Поиск улучшений для работы алгоритма в общем случае продолжается.

Полученные алгоритмы были реализованы в приложении на языке C# с помощью технологии Windows Presentation Foundation (WPF).

Methods for constructing k -uniform hypergraphs from the vector of degrees of its vertices

Irbitskiy I.S., Beretskiy I.S., Egorova E.K., Mokryakov A.V.

MAI, Moscow, Russia

The paper presents algorithms for constructing a k -uniform hypergraph from the vector of degrees of its vertices. A k -uniform hypergraph is, on the one hand, a generalization of the graph, and on the other hand, a separate class of hypergraphs. Its peculiarity is that each edge, unlike a graph, is incident to exactly k vertices.

There is a well-known construction algorithm for such objects using an arbitrary vector, but it has disadvantages.

1. In case of failure, it does not give an unambiguous answer to the question of the possibility of restoring the hypergraph.

2. Its implementation is not simple enough.

3. The speed of the algorithm also leaves much to be desired.

For these reasons, it was decided to develop alternative algorithms for constructing k -uniform hypergraphs.

Let's look at the greedy algorithm first.

This algorithm composes a simplex of vertices with the greatest degrees, after which it is checked whether such a simplex already exists in the hypergraph. If not, it is added to the hypergraph; in the presence of such a simplex, an opportunity is sought to compose a simplex, which is not yet in the hypergraph at the moment. In the general case, the algorithm works (if a hypergraph can be restored from a vector, then it is guaranteed to be restored), however, it has a high complexity and, as a consequence, a long time of work on large vectors.

The advantage of the algorithm is the guarantee of restoration to an n -complex if it is possible for the input vector. The downside, obviously, is the slow speed and, as a consequence, the long running time of the algorithm.

Let's move on to the reduction algorithm. It works as follows: first, the vertex degree vector is sorted non-increasing. Further, for a k -uniform hypergraph, $(k-1)$ vertices with higher degrees are fixed, and all the remaining vertices are used to compose simplices added to the hypergraph. When the senior vertex is zeroed, the vector is sorted, and the process continues until the vector is zeroed.

The algorithm works for ordinary graph cases and most cases for k -uniform hypergraph (each hyperedge joins k vertices). The search for improvements for the algorithm in the general case continues.

The resulting algorithms were implemented in a C# application using Windows Presentation Foundation (WPF) technology.

Прогнозирование изменения полетного ресурса лопастей несущего винта вертолета, в связи с воздействием ветра на стоянке

Каргаев М.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В авиации вопросам обеспечения усталостной прочности традиционно уделяется большое внимание. Применительно к лопастям несущего винта вертолета при определении их безопасного ресурса обычно ограничиваются полетным спектром нагружения. Такой подход определения и установления ресурса, с учетом существующей системы эксплуатации вертолетов, является довольно надежным. Действительно, до недавнего времени считалось, что накопление усталостных повреждений лопастями несущего винта вертолета происходит в основном за счет полетного спектра нагружения. При этом большая часть вертолетного парка эксплуатировалась в климатических зонах с умеренными ветрами, и возникающие случаи повреждения лопастей несущего винта из-за воздействия ветра на стоянке не были столь заметными на фоне общей статистики эксплуатирующихся вертолетов. Однако с началом их массовой эксплуатации в местах с сильным ветром такие повреждения стали возникать чаще.

Отметим, что даже при относительно небольших скоростях ветра, напряжения, действующие в лопасти, могут достигать значительных величин. Учитывая факт нахождения вертолета в стояночном положении, в течении более чем 80% времени эксплуатации, в зависимости от ветрового режима района базирования вертолетов и календарного срока службы лопастей, доля усталостных повреждений, вносимых ветровыми нагрузками, может оказаться соизмеримой с повреждаемостью от полетного спектра нагружения.

В настоящей работе, существующая процедура, определения безопасного ресурса лопастей несущего винта вертолета, дополнена в части ветрового нагружения. На основе гипотезы Пальмгрена-Майнера, уравнение суммирования повреждаемостей записано с учетом ветрового спектра нагружения. Прогнозирование ресурса лопастей выполнено для пяти вариантов эксплуатации вертолета, отличающихся географией мест эксплуатации и наличием, либо отсутствием, швартовки лопастей, с использованием модели ветра, позволяющей учитывать изменчивость его скорости во времени.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90028.

Predicting changes in the flight resource of helicopter main rotor blades due to the impact of wind on the parking lot

Kargaev M.V.

MAI, Moscow, Russia

In aviation, issues of fatigue strength are traditionally given great attention. In relation to helicopter main rotor blades, when determining their safe resource, they are usually limited to the flight spectrum of loading. This approach of determining and establishing the resource, taking into account the existing helicopter operation system, is quite reliable. Indeed, until recently, it was believed that the accumulation of fatigue damage by helicopter main rotor blades occurs mainly due to the flight spectrum of loading. At the same time, most of the helicopter fleet was operated in climatic zones with moderate winds, and the resulting cases of damage to the main rotor blades due to wind exposure in the parking lot were not so noticeable against the background of general statistics of operating helicopters. However, with the beginning of their mass operation in places with strong winds, such damages began to occur more often.

Note that even at relatively low wind speeds, the stresses acting in the blade can reach significant values. Given the fact that the helicopter is in a stationary position for more than 80% of the operating time, depending on the wind conditions of the helicopter base area and the calendar life of the blades, the share of fatigue damage caused by wind loads may be commensurate with the damage from the flight spectrum of loading.

In this paper, the existing procedure for determining the safe resource of helicopter main rotor blades is supplemented in terms of wind loading. Based on the Palmgren-Miner hypothesis, the damage summation equation is written taking into account the wind loading spectrum. Prediction of the blade resource was performed for five helicopter operation options that differ in the geography of the operating locations and the presence or absence of mooring of the blades, using a wind model that allows you to take into account the variability of its speed over time.

The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90028.

Структурная корректировка нейросетевой модели летательного аппарата

Колганов П.А., Тюменцев Ю.В., Игонин Д.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Искусственные нейронные сети представляют собой мощное и гибкое средство решения разнообразных задач как статического, так и динамического характера. Однако при практическом использовании нейросетевого моделирования часто возникают сложности с выбором подходящей архитектуры сети применительно к конкретной решаемой задаче. Кроме того, в целом ряде случаев не удаётся добиться требуемой точности и обобщающей способности нейросетевой модели только за счет ее обучения, то есть за счет варьирования ее параметров. При этом число настраиваемых параметров сети зачастую избыточно. С учетом данного обстоятельства, можно пытаться уменьшить это число и подобрать некоторую субоптимальную структуру сети, приспособленную для решения рассматриваемой конкретной задачи, но обеспечивающую требуемый уровень точности моделирования.

Простейшим вариантом такого рода структурной адаптации является система с несколькими, заранее заданными, вариантами структуры сети, из которых выбирается один, который лучше всего решает поставленную задачу.

Более сложный вариант основан на использовании некоторого мета-алгоритма, который изменяет структуру нейросетевой модели в зависимости от решаемой задачи и результатов наблюдений, на основе которых нейронная сеть обучается.

В работе рассматривается задача идентификации математической модели летательного аппарата путём эволюционной структурной корректировки нейросетевой модели на экспериментальных данных.

Structural adjustment of an airplane neural network model

Kolganov P.A., Tiumentsev Yu.V., Igonin D.M.

MAI, Moscow, Russia

Artificial neural networks are a powerful and flexible tool for solving various static and dynamic character tasks. However, when using neural network modeling in practice, there are often difficulties in choosing the appropriate network architecture for a particular task to be solved. Besides, in some cases, it is impossible to achieve the required accuracy and generalization ability of the neural network model only through its training, that is, through the variation of its parameters. In this case, the number of configurable network parameters is often excessive. Considering the circumstances mentioned above, we can try to reduce this number and select some suboptimal structure of the network, adapted to the solution of the considered particular problem, but providing the required level of accuracy of modeling.

The simplest variant of such structural adaptation is a system with several predetermined variants of the network structure, from which one is chosen, which best solves the problem.

The more complicated variant is based on the use of some meta-algorithm, which changes the neural network model's structure depending on the task being solved and the results of observations based on which the neural network is trained.

The paper deals with identifying a mathematical model of an aircraft through evolutionary structural correction of the neural network model on experimental data.

Разработка модели фотоэлектрического преобразователя угла оценки допустимой границы биений оптической системы преобразователей

Королев И.А.

ГосНИИАС, г. Москва, Россия

Разработка фотоэлектрических преобразователей угла каждый раз поднимает вопрос об устойчивости оптико-электрической системы к колебаниям, возникающим из-за несовершенств механической составляющей преобразователей. Отсутствие значимых публикаций об обобщенных методах оценки допустимых границ биений, и, вместе с тем, очевидный экономических эффект, связанный с минимизацией натурального моделирования и сокращения сроков разработки при применении методов математического компьютерного моделирования, делают приведенную в работе проблематику актуальной.

В работе продемонстрирована математическая модель фотоэлектрического преобразователя угла, выполненная в среде matlab simulink. Она является идеализированным представлением реального преобразователя. В модели применяются исключительно логические компоненты, она не позволяет симулировать электрические и оптические эффекты, что, как показано в работе, однако, не мешает обнаруживать эффекты от биений оптической системы. Логические элементы преобразуют набор входных оптических сигналов в выходной монотонный код датчика угла в виде параллельного кода, соответствующего разрядности преобразователя. Модель симулирует полный оборот датчика, формируя набор сигналов на выходе преобразователя, на основании которых делается вывод о работоспособности датчика угла в условиях расчетных биений.

В работе обобщены подходы по упрощению задачи для последующего её решения численными методами. Рассмотрены два вида наиболее распространенных механических колебаний, влияющих на математику преобразования: радиальные и торцевые биения оптической системы. Представлены алгоритмы по оптимизации расчетов. Показана вычислительная проблематика предложенного метода и пути решений с учетом современных аппаратных возможностей вычислительной техники.

Заключение. Предложенная математическая модель позволяет производить оценку границы допустимых биений оптической системы фотоэлектрических преобразователей угла. В работе предложены дальнейшие пути повышения точности оценки, даваемой методикой, и направления развития как методики, так и модели. Получены данные для верификации модели на реальных преобразователях угла и установления допустимых границ применимости методики.

Design of model of photoelectric encoder for estimating the permissible oscillations limits of the optical systems of encoders

Korolev I.A.

GosNIAS, Moscow, Russia

The design of photoelectric encoders each time raises the question of the stability of the photoelectric system to vibrations that occur due to the imperfections of the mechanical components of the encoders. Lack of significant publications on generalized methods for estimating permissible oscillations and, at the same time, the obvious economic effect, associated with minimizing full-scale modeling and reducing development time, when applying proposed approach, makes article relevant.

In the article, a mathematical model of an encoder, made in the matlab simulink environment, is presented. It is an idealized representation of a real encoder. The model uses exclusively logical components; it doesn't allow simulating electrical and optical effects, which, however, allows detection of oscillation in the optical system. Logic elements convert the set of input optical signals into the output monotonous code of the angle encoder in the form of a parallel code, corresponding to the bit width of the encoder. The model simulates a full revolution of the encoder, forming a set of signals at the output of the encoder, on the basis of which a conclusion about correctness of performance under the conditions of oscillations of encoder is made.

The article summarizes approaches to simplify problem for its subsequent solution by numerical methods. Two types of the most common mechanical vibrations, affecting the mathematics of transformation are considered: radial and oscillations of the optical system. The development of the method was carried out on a mathematical idealized model of real-life photoelectric angle encoder, performed in the matlab simulink environment, and the data from which used as confirmation of the applicability of the method to the evaluation of oscillations. Algorithms for optimization of calculations are presented. The computational problems of the proposed method and solutions are shown, taking into account the modern hardware capabilities of computing technology.

Conclusion. The proposed mathematical model makes it possible to estimate the limits of permissible oscillations of the optical system of photoelectric angle encoders. The article proposes further ways to improve the accuracy of the estimation given by methodology, and directions for the development of both method and the model. Data were obtained for verifying the model on real encoders and establishing the permissible limits of the method's applicability.

Применение конечно-элементной модели для анализа конструкции космического аппарата на воздействие источников микровибрации

Кравчуновский А.П.

СибГУ им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

Работа современных космических аппаратов (КА) связана с использованием бортовой аппаратуры, чувствительной к микровибрации. По причине того, что источники микровибрации на борту таких КА способны ухудшить рабочие характеристики прецизионной полезной нагрузки (ПН), проблема микровибрации и её анализа становится актуальной.

Анализ влияния входного воздействия источника микровибрации состоит в оценке его частотной характеристики, корректном выборе частотного диапазона анализа и метода описания математической модели КА.

В настоящей работе рассматривается КА, состоящий из космической обсерватории «Миллиметр» и модуля служебных систем. Зеркальная система модуля ПН является основной функциональной частью космического телескопа и требует высокой точности наведения главного зеркала на объект исследования.

Для нормального функционирования космического телескопа необходима непрерывная работа активной системы его охлаждения. Таким образом, телескоп и источники микровибрации должны работать одновременно. В данном случае источником микровибрации является микрокриогенный охладитель (или криокулер).

В первую очередь необходимо определить тип возмущения, которое создает источник. От правильности выбора зависит корректность применения того или иного вида анализа. В данном случае воздействие криокулера представляет собой периодическую функцию.

Основным критерием выбора частотного диапазона для исследования влияния микровибрации на ПН является рабочий диапазон частот источника. При этом наибольшее внимание следует уделить участкам выбранного диапазона, на которых наблюдается резкое возрастание амплитуды возмущения.

Криокулеры функционируют на определенной фиксированной частоте в диапазоне от 30 до 60 Гц. Возникающие при этом динамические силы соответствуют этим частотам или кратным им.

Анализ проводился с использованием конечно-элементного (КЭ) представления математической модели КА. Применимость метода конечных элементов (МКЭ) обычно ограничивается низким и средним частотными диапазонами, поскольку достоверность решения зависит от качества сетки КЭ. Модальный анализ КЭМ показал её применимость в частотном диапазоне 0 – 100 Гц.

Анализ отклика проводился в частотной области. В качестве характеристик передаточной функции, полученной в результате анализа, является ее модуль, т.е. коэффициенты передачи.

В настоящей работе продемонстрирована методика анализа конструкции КА на воздействие микровибрации с учетом особенностей применения для этих целей МКЭ.

Finite element model usage for the microvibration analysis of the spacecraft structure

Kravchunovskiy A.P.

Reshetnev University, Krasnoyarsk, Russia

The operation of modern spacecrafts is associated with the use of onboard equipment that is sensitive to microvibration. Due to the fact that the microvibration sources which are on board of such spacecrafts can degrade the precision payload performance characteristics, the problem of microvibration and its analysis becomes up to date.

The most important issues for the microvibration analysis are an assessing of the source frequency response, correct choosing of the analysis frequency range and the describing method for the spacecraft mathematical model.

In this paper, we consider a spacecraft consisting of the Millimetron space observatory and a service module. In this case, the mirror system of the payload is the main functional part of the space telescope. Being a high accuracy instrument, it has strict requirements for its pointing stability.

For the normal functioning of the space telescope, continuous operation of its active cooling system is required. Thus, the telescope and microvibration sources must work simultaneously. In this case, the source of microvibration is a microcryogenic cooler (or cryocooler).

First it is necessary to determine the type of disturbance that the source creates. It is important for the correct using of the appropriate analysis type. In this case, the cryocooler disturbance is a periodic function.

The operating frequency range of the microvibration source is the main criterion for choosing a frequency range for the microvibration effect calculation. Much attention should be given to the areas of the selected range, where peak response values are observed.

Cryocoolers operate at a certain frequency in the range from 30 to 60 Hz. The resulting dynamic forces correspond to these frequencies or multiples of them.

The analysis was carried out using the finite element representation of the spacecraft mathematical model. The validity of the FEM method is usually limited to low and mid frequency ranges depending on the grade of the refinement of the model (mesh density). Modal analysis of the FEM showed its applicability in the frequency range 0 - 100 Hz.

The analysis was carried out in the frequency domain. As the analysis result the transfer function modulus was obtained, i.e. transmission coefficients.

This paper demonstrates a technique for analyzing the spacecraft structure for the microvibration effects, taking into account the specifics of using the FEM for these purposes.

Структурный анализ систем моментных уравнений и уравнений Навье-Стокса-Фурье для неравновесных течений

Красавин Е.Э., Никитченко Ю.А., Буданова С.Ю.
МАИ, г. Москва, Россия

Описание течений высокой степени динамической неравновесности относится к числу актуальных задач современной механики газов. Использование модели сплошной среды для этого класса задач приводит к существенным количественным, а в отдельных случаях и качественным неточностям.

Модель Навье-Стокса-Фурье (НСФ) представляет собой систему моментных уравнений неполного второго порядка. Для описания неравновесных напряжений и тепловых потоков используются дополнительные, не следующие из молекулярно-кинетической теории, допущения.

Система моментных уравнений третьего порядка позволяет записать уравнения неравновесных напряжений и тепловых потоков в явном виде в строгом соответствии с молекулярно-кинетической теорией газов. Выделение указанных неравновесных величин из релаксационных членов соответствующих моментных уравнений позволяет выразить члены, влияющие на формирования неравновесной величины, в структурной форме.

На примере решения задачи о профиле плоской ударной волны изучен количественный вклад различных членов моментного уравнения в результирующее значение неравновесной величины. Решение получено для модельного кинетического уравнения многоатомных газов. Определенная в решении функция распределения молекул по скоростям позволяет вычислить значения всех членов моментного уравнения, включая производные моментов высшего (четвертого) порядка.

Сравнительный анализ значений членов моментных уравнений неравновесных величин при умеренных и высоких числах Маха ($M > 2$) позволил сделать следующие выводы:

- Основной вклад в неравновесные напряжения создают градиенты моментов третьего порядка (термострессовые напряжения), отсутствующие в модели НСФ;
- Основной вклад в тепловой поток (свертка моментов третьего порядка) создают градиенты моментов четвертого порядка, относящихся к числу "неизмеримых параметров", также отсутствующих в модели НСФ;
- Отсутствие указанных величин в модели НСФ приводят к уменьшению размера области возмущения потока, в данной задаче – к сужению профиля ударной волны.

Предложен метод искусственного увеличения области возмущения, не приводящий, однако, к точному описанию поля течения.

Structural analysis of systems of moment equations and Navier-Stokes-Fourier equations for nonequilibrium flows

Krasavin E.E., Nikitchenko Yu.A., Budanova S.Yu.
MAI, Moscow, Russia

The description of flows with a high degree of dynamic nonequilibrium is one of the urgent problems of modern gas mechanics. Continuum model is used for this class of problems leads to significant quantitative and, in some cases, qualitative inaccuracies.

The Navier-Stokes-Fourier (NSF) model is a system of moment equations of incomplete second order. Nonequilibrium stresses and heat fluxes are describe, additional assumptions are used that do not follow from the molecular kinetic theory.

The system of third-order moment equations allows to write the equations of nonequilibrium stresses and heat fluxes in explicit form in strict accordance with the molecular-kinetic theory of gases. The separation of these non-equilibrium quantities from the relaxation terms of the corresponding moment equations makes to express the terms influencing the formation of a nonequilibrium quantity in structural form.

On the example of solving the problem of the profile of a plane shock wave, the quantitative contribution of various terms of the moment equation to the resulting value of the nonequilibrium quantity is studied. The solution is obtained for the model kinetic equation of polyatomic gases. The velocity distribution function of molecules defined in the solution allows calculating the values of all terms of the moment equation, including the derivatives of the moments of the highest (fourth) order.

A comparative analysis of the values of the terms of the moment equations of non-equilibrium quantities at moderate and high Mach numbers ($M > 2$) made the following conclusions:

- The main contribution to nonequilibrium stresses is created by gradients of the moments of the third order (thermal stress stresses), which are absent in the NSF model;
- The main contribution to the heat flux (convolution of the third-order moments) is created by the gradients of the fourth-order moments, referring to the number of "immeasurable parameters" that are also absent in the NSF model;
- The absence of these values in the NSF model leads to a decrease in the size of the flow disturbance region, in this problem — to a narrowing of the shock wave profile.

A method is proposed for artificially increasing the perturbed region, which, however, does not lead to an accurate description of the flow field.

Разработка комбинированных алгоритмов для рекомендательных систем

Куренных А.Е., Судаков В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рекомендательные системы являются настоящим трендом в сфере информационных технологий. Они применяются в различных областях современного рынка услуг и продуктов: в сфере проката фильмов, музыкальных сервисов, новостных подборках, а также в интернет-магазинах и контекстной рекламе. Принцип алгоритмического обеспечения рекомендательных систем может быть основан на различных подходах, которые обладают своими преимуществами и недостатками, а также требуют разный уровень подготовки первичных данных.

Основная идея проводимого авторами исследования заключается в разработке специальных комбинированных методов, которые позволяют использовать алгоритмы выработки рекомендаций не только в сферах услуг и товаров, но и в процессе решения научных и технических задач. Например, актуальной научно-технической задачей является задача о назначениях исполнителей на выполнение определенных задач в процессе разработки информационных систем. В рамках IT проекта часто возникает проблема выбора такого исполнителя задачи, который смог бы решить ее качественно и в минимальные сроки, при этом во внимание принимается стоимость исполнителя и ряд других показателей, обрабатывать которые "в уме" невозможно. Предложенная задача может быть эффективно решена с помощью комбинации контентного метода выработки рекомендаций, кластерного анализа с использованием функции предпочтений, характеризующей действия руководителя проекта.

В процессе разработки алгоритмического обеспечения, его отладки и тестирования используется база задач одного из крупнейших российских производителей программных продуктов.

Development of combined algorithms for recommender systems

Kurennykh A.E., Sudakov V.A.

MAI, Moscow, Russia

Recommender systems are a real trend in information technology. They are used in various areas of the modern market of services and products: in the field of movie rental, music services, news feeds, as well as in online stores and context advertising. The principle of algorithmic support of recommender systems can be based on various approaches that have their own advantages and disadvantages, and also require a different level of preparation of primary data.

The main idea of the research carried out by the authors is to develop special combined methods that allow the use of algorithms for developing recommendations not only in the areas of services

and goods, but also in the process of solving scientific and technical problems. For example, an urgent scientific and technical task is the task of assigning performers to certain tasks in the process of information systems development. During an IT project, there is often the problem of choosing a task performer who could solve it efficiently and in the shortest possible time, taking into account the cost of the performer and a number of other indicators that cannot be processed "in the mind". The proposed task can be effectively solved using a combination of the content method for making recommendations, cluster analysis with the use of the preference function that characterizes the actions of the project manager.

During the development of algorithmic software, its debugging and testing, the database of tasks of one of the largest Russian manufacturers of software products is used.

Применение регрессионного анализа для построения зависимостей повреждаемости авиационных конструкций из углепластика от энергии внешнего воздействия

Кускова А.Н., Мантрова Ю.В.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Малозаметные ударные повреждения (barely visible impact damage – BVID) на поверхности авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) царапины, сколы, вмятины неизбежно возникают при эксплуатации воздушных судов (ВС). Они могут сопровождаться нарушениями внутреннего строения, которые не могут быть обнаружены при визуальном осмотре, однако ухудшают эксплуатационные характеристики изделий и снижают их надежность. Одним из препятствий в расширении области применения ПКМ в авиастроении является сложность прогнозирования поведения композитных конструкций после получения случайных ударных повреждений [1]. Для решения данной задачи требуется повышение надежности выявления BVID при визуальном осмотре, а также построение математических моделей, выявляющих связь между низкоэнергетическими ударными воздействиями и количественной оценкой размеров внутренних повреждений, выявляемых методами неразрушающего контроля (НК).

Были исследованы 183 образца углепластиковых панелей размером 150x100x6 мм, с тремя различными схемами укладки, на которые наносились нормированные удары с энергиями от 5 до 45 Дж, приводящие к появлению BVID на поверхности. Размер внутренних повреждений оценивался методами ультразвукового контроля (УЗК) и инфракрасной термографии (ИКТ). По данным измерений построены регрессионные модели зависимости повреждаемости от энергии внешнего воздействия и метода НК. Размеры дефектов, выявленных методом ИКТ, при двустороннем контроле, не превышают 50% от размеров, обнаруженных методом УЗК, а при ИКТ контроле только с одной стороны образца - 30%. Несмотря на большую вариативность размеров повреждений, анализ данных показал высокую степень корреляции (с коэффициентом корреляции $R > 0,7$) между энергией ударного воздействия и размером внутренних повреждений. Для данных УЗК уравнение регрессии имеет вид степенной зависимости с показателем степени $1/2$, а данные ИКТ – линейную зависимость. Построенные математические модели показывают, что влияние на характер зависимости повреждаемости углепластика от энергии удара оказывает не только особенность структуры ПКМ (схема укладки, тип связующего и т.д.), но и метод НК, которым осуществляется количественная оценка внутренних повреждений.

1. Смотрова С.А., Наумов С.М., Смотров А.В. Технологии изготовления силовых агрегатов авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов.-М.: Техносфера, 2015.-216 с.

Выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-13019.

Application of regression analysis for constructing the dependences of the damageability of aircraft CFRP structures on the energy of external influence

Kuskova A.N., Mantrova Y.V.

TsAGI, Zhukovsky, Russia

Barely visible impact damage (BVID) on the surface of aircraft structures made of polymer composite materials (PCM), scratches, chips, dents inevitably occur during the operation of aircraft.

They can be accompanied by violations of the internal structure, which cannot be detected by visual inspection, but they degrade the performance of products and reduce their reliability. One of the obstacles to expanding the field of application of PCM in aircraft construction is the difficulty of predicting the behavior of composite structures after accidental impact damage [1]. To solve this problem, it is necessary to increase the reliability of BVID detection during visual inspection, as well as to build mathematical models that reveal the relationship between low-energy impacts and a quantitative evaluation of the size of internal damage detected by non-destructive testing (NDT) methods.

We examined 183 CFRP specimens measuring 150x100x6 mm, with three different stacking patterns, on which normalized impacts with energies ranging from 5 to 45 J were applied, resulting in the appearance of BVID on the surface. The size of internal damage was assessed using ultrasonic (US) testing and infrared thermography (IRT). Based on the measurement data, regression models of the dependence of damageability on the energy of external action and the NDT method were constructed. The sizes of defects revealed by the IRT method, with bilateral inspection, do not exceed 50% of the sizes detected by the US method, and with IRT inspection only on one side of the sample - 30%. Despite the large variability of damage sizes, data analysis showed a high degree of correlation (with a correlation coefficient $R > 0.7$) between impact energy and internal damage size. For US data, the regression equation has the form $y = a \cdot x^{1/2} + b$, (a and b - the regression coefficients), and the IRT data have a linear relationship. The constructed mathematical models show that the effect on the nature of the dependence of the damageability of CFRP on the impact energy is exerted not only by the structural features of the PCM (stacking scheme, type of binder, etc.), but also by the NDT method, which quantitatively evaluates internal damage.

1. Smotrova S.A., Naumov S.M., Smotrov A.V. Manufacturing technologies for power units of aircraft structures from polymer composite materials. - M.: Technosphere, 2015. -- 216 p.

This work was carried out with the financial support of the RFBR, project No. 19-29-13019.

Моделирование схлопывания цилиндрической оболочки в конечных деформациях

Леканов М.В., Майер А.Е.

ЧелГУ, г. Челябинск, Россия

Эксперименты по схлопыванию цилиндрических и сферических металлических оболочек используются для исследования деформационного поведения металлов в условиях кумуляции энергии в сходящейся ударной волне. В настоящее время накоплен существенный экспериментальный материал, включая данные металлографических исследований. Данная задача представляет интерес с точки зрения исследования упругопластических течений и разрушения кристаллической структуры металла при одновременно высоких скоростях деформации и больших накопленных деформациях. Например, задача о схлопывании металлических цилиндров подразумевает, что материал испытывает относительную деформацию много больше единицы. Для описания данного процесса ранее разработанная модель дислокационной пластичности требует обобщения на случай больших деформаций больших деформаций.

Для описания поведения алюминия была использована аппроксимация результатов молекулярно-динамического (МД) моделирования. МД моделированием были получены зависимости напряжений сжатия/растяжения и сдвига от деформации образца. Аппроксимация полученных зависимостей позволила определить упругую составляющую через градиенты упругой деформации и лагранжев тензор конечных деформаций Грина. Механизм пластической деформации описывался на основе модели генерации и движения дислокаций в алюминии. Данный подход позволяет решать более широкий круг задач о развитии ударных волн в материалах, избегая требования о малости градиентов перемещения. Полученная система уравнений решалась в одномерной цилиндрической постановке.

Работа поддержана Минобрнауки РФ в рамках гос. задания НИР ЧелГУ (№ 075-00250-20-03).

Modeling of cylindrical shell collapse in finite deformations

Lekanov M.V., Mayer A.E.

CSU, Chelyabinsk, Russia

Experiments on collapse of cylindrical and spherical metal shells are used for researching the deformation behavior of metals in the conditions of energy cumulation in the converging shock wave. A significant experimental material has been accumulated currently. This problem is of interest for the studying elastoplastic flows and destruction of the crystal structure of a metal at high strain rates and values. For example, the problem of collapsing metal cylinders implies that the material is underwent a relative deformation much greater than unity. To describe this process, the previously developed model of dislocation plasticity requires generalization to the case of large deformations.

We use the approximation of the results of a molecular dynamics (MD) simulations for description of the behavior of aluminum sample. The dependencies between the stresses in a sample and his deformation are obtained from MD simulation. Approximation of these dependencies allows us to define the elastic component of deformation with using the deformation gradients and Green's deformation tensor. The plastic deformation is described with using the model of generation and motion of dislocation in aluminum. This approach allows us to solve wider specter of problems about propagation of shock waves in amaterials with ignoring the requirements of smallness of displacement gradients. The resulting system of equations is solved in a one-dimensional cylindrical formulation.

The work is supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation (state assignment for researches by CSU No. 075-00250-20-03).

Исследование точности численного интегрирования кватернионных регулярных уравнений пространственной ограниченной задачи трёх тел в переменных

Кустанхеймо-Штифеля

Логинов М.Ю., Челноков Ю.Н.

ИПТМУ РАН, г. Москва, Россия

В небесной механике и механике космического полета важную роль играет пространственная ограниченная задача трёх тел, уравнения которой используются, в частности, для прогноза движения небесных и космических тел, для построения управления орбитальным движением космического аппарата (КА). В докладе сравниваются точности численного интегрирования классических ньютоновских дифференциальных уравнений (КНДУ) ограниченной задачи трех тел в декартовых координатах и регулярных кватернионных дифференциальных уравнений (РКДУ) этой задачи в переменных Кустанхеймо-Штифеля (KS-переменных). Уравнения в KS-переменных имеют ряд аналитических и вычислительных преимуществ по сравнению с КНДУ в декартовых координатах. Их использование вместо ньютоновских уравнений, как показано Штифелем, Шейфеле, Бордовицной и др., позволяет повысить точность численного решения ряда задач небесной механики и астродинамики на несколько порядков.

В нашем исследовании изучалась точность определения траектории движения КА в поле тяготения Земли и Луны для четырёх орбит: круговой, двух эллиптических с малым эксцентриситетом (0.05) и одной эллиптической с большим эксцентриситетом (0.85). Траектория КА определялась численным интегрированием методом Рунге-Кутты 4-го порядка КНДУ в декартовых координатах и РКДУ в KS-переменных. Последние интегрировались в фиктивном времени. Оно является независимой переменной в регулярных уравнениях и связано с реальным временем дифференциальным соотношением. В реальном времени шаги интегрирования РКДУ и КНДУ совпадали. На интервале времени в 50 оборотов КА выполнялось прямое, а затем обратное интегрирование уравнений движения. Точность численного решения определялась максимальным отклонением обратной траектории КА от прямой.

Для всех четырёх орбит уравнения в KS-переменных показали значительно более высокую точность, чем уравнения в декартовых координатах. Для круговой орбиты точность

оказалась выше на 2 порядка, для эллиптических орбит с малым эксцентриситетом – на 4 порядка, для эллиптической орбиты с высоким эксцентриситетом – на 7 порядков.

Исследование выполнено в рамках гос. задания (номер гос. регистрации АААА-А18-118042790045-5) и при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 19-01-00205).

Литература:

1. Штифель Е., Шейфеле Г. Линейная и регулярная небесная механика. М.: Наука, 1975. 304 с.

2. Челноков Ю.Н. Кватернионная регуляризация уравнений возмущенной пространственной ограниченной задачи трех тел. I // Изв. РАН. МТТ. 2017. № 6. С. 24-54.

The study of numerical integration accuracy for quaternion regular equations of spatial restricted three-body problem in Kustaanheimo-Stiefel variables

Loginov M.Y., Chelnokov Yu.N.

IPTMU RAS, Moscow, Russia

A spatial restricted three-body problem is central to celestial mechanics and spaceflight mechanics. The equations of this problem are used, in particular, to predict the motion of celestial and space bodies, and to control orbital motion of spacecrafts. We compared the accuracy of numerical integration of the classical Newtonian differential equations (CNDE) in Cartesian coordinates for restricted three-body problem and the regular quaternion differential equations (RQDE) in Kustaanheimo-Stiefel variables (KS-variables) for the same problem. Equations in KS-variables have a number of analytical and computational advantages over CNDE in Cartesian coordinates. Stiefel, Scheifele, Bordovitsyna and others showed that using them instead of Newtonian equations allows to increase the accuracy of numeric solutions for a number of problems in celestial mechanics and astrodynamics by several orders.

We studied the accuracy of calculating the trajectory of the motion of a spacecraft in gravitational fields of the Earth and the Moon for four orbits: circular orbit, two elliptic orbits with small eccentricity (0.05) and one elliptic orbit with high eccentricity (0.85). The trajectory of a spacecraft was calculated by numerical integration of the CNDE and the RQDE by the 4th order Runge-Kutta method. The latter were integrated in fictitious time. It is an independent variable in regular equations and it is related to real time by a differential equation. In real time, the integration steps of RQDE and CNDE were equal. Over the time span of 50 revolutions of a spacecraft, the motion equations were integrated forward, then backward in time. The accuracy of numerical solution was defined as the maximum difference between forward and backward trajectories.

For all the four orbits the RQDE demonstrated much higher accuracy than the CNDE. For the circular orbit the accuracy was higher by 2 orders, for the elliptic orbits with small eccentricity – by 4 orders, and for the elliptic orbit with high eccentricity – by 7 orders of accuracy.

Research accomplished within the gov. contract (reg. num. АААА-А18-118042790045-5) and with partial financial support of RFBR (project 19-01-00205).

References:

1. E. Stiefel, G. Scheifele. Linear and regular celestial mechanics. Springer, Berlin (1971)

2. Yu.N. Chelnokov, "Quaternion Regularization of the Equations of the Perturbed Spatial Restricted Three-Body Problem: I," Mech. Solids. 52 (6), 613-639 (2017)

Современные методы раскраски гиперграфов

Мокряков А.В., Егорова Е.К., Пашковская Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Раскраска гиперграфов применяется для решения различных задач, например, для построения современных сетей передачи данных, для проектирования механизмов маршрутизации, для численной оптимизации и др. Существование универсального и оптимального алгоритма могло бы упростить их решение.

Для анализа были выбраны ряд современных алгоритмов:

1. Детерминированный алгоритм А для 2-раскрашиваемых k -равномерных гиперграфов [1].

2. Простой случайный потоковый алгоритм [2].

3. Простой случайный алгоритм [3].
4. CR[4].
5. Сетевой бесконфликтный алгоритм [5].
6. Parallel Distance-2 Coloring [6]. Этот алгоритм применяется для раскраски любого гиперграфа.
7. Las Vegas [7].
8. First Fit [8].

Проанализировав алгоритмы были сделаны следующие выводы:

- Каждый из алгоритмов используется для раскраски определённых классов гиперграфов.
- Абсолютно универсального и оптимального алгоритма на данный момент не предложено.

Варианты из представленных алгоритмов имеют наибольшее покрытие гиперграфов: Parallel Distance-2 Coloring, Сетевой бесконфликтный алгоритм, First Fit, Las Vegas, CR.

Скорость алгоритмов случайных алгоритмов полиномиальна, но хроматическое число не минимально.

Наиболее перспективным по скорости и хроматическому числу видится алгоритм Parallel Distance-2 Coloring.

Литература:

1. Achlioptas D. et al. Two-Coloring Random Hypergraphs // *Random Struct. Algorithms*. 2002. Vol. 20, № 2. P. 249–259.
2. Dinur I., Guruswami V. PCPs via the low-degree long code and hardness for constrained hypergraph coloring // *Isr. J. Math.* Springer New York LLC, 2015. Vol. 209, № 2. P. 611–649.
3. Alon N. et al. Coloring 2-colorable hypergraphs with a sublinear number of colors // *Nord. J. Comput.* 1996. Vol. 3, № 4. P. 425–439.
4. Alon N., Spencer J.H. A Note on Coloring Random k -Sets. P. 1–5.
5. Bar-Noy A. et al. Online conflict-free colouring for hypergraphs // *Comb. Probab. Comput.* 2010. Vol. 19, № 4. P. 493–516.
6. Bozdağ D. et al. A parallel distance-2 graph coloring algorithm for distributed memory computers // *Lecture Notes in Computer Science*. 2005. Vol. 3726 LNCS. P. 796–806.
7. Bärtschi A., Grandoni F. On conflict-free multi-coloring // *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Verlag, 2015. Vol. 9214. P. 103–114.
8. Nagy-György J. On the advice complexity of coloring bipartite graphs and two-colorable hypergraphs // *Acta Cybern. Univ. of Szeged, Institute of Informatics*, 2018. Vol. 23, № 3. P. 929–938.

Modern methods of coloring hypergraphs

Mokryakov A.V., Egorova E.K., Pashkovskaya E.A.
MAI, Moscow, Russia

Coloring of hypergraphs is used to solve various problems, for example, to build modern data transmission networks, to design routing mechanisms, for numerical optimization, etc. The existence of a universal and optimal algorithm could simplify their solution.

A number of modern algorithms were selected for the analysis:

1. Deterministic algorithm A for 2-colorable k -uniform hypergraphs [1].
2. Simple random streaming algorithm [2].
3. Simple random algorithm [3].
4. CR [4].
5. Network conflict-free algorithm [5].
6. Parallel Distance-2 Coloring [6]. This algorithm is used to color any hypergraph.
7. Las Vegas [7].
8. First Fit [8].

After analyzing the algorithms, the following conclusions were made:

- Each of the algorithms is used to color certain classes of hypergraphs.
- At the moment, no absolutely universal and optimal algorithm has been proposed.

Five variants of the presented algorithms have the greatest coverage of hypergraphs: Parallel Distance-2 Coloring, Network Conflict-Free Algorithm, First Fit, Las Vegas, CR.

The speed of the algorithms of random algorithms is polynomial, but the chromatic number is not minimal.

The most promising in terms of speed and chromatic number is the Parallel Distance-2 Coloring algorithm.

References:

1. Achlioptas D. et al. Two-Coloring Random Hypergraphs // *Random Struct. Algorithms*. 2002. Vol. 20, № 2. P. 249–259.
2. Dinur I., Guruswami V. PCPs via the low-degree long code and hardness for constrained hypergraph coloring // *Isr. J. Math.* Springer New York LLC, 2015. Vol. 209, № 2. P. 611–649.
3. Alon N. et al. Coloring 2-colorable hypergraphs with a sublinear number of colors // *Nord. J. Comput.* 1996. Vol. 3, № 4. P. 425–439.
4. Alon N., Spencer J.H. A Note on Coloring Random k-Sets. P. 1–5.
5. Bar-Noy A. et al. Online conflict-free colouring for hypergraphs // *Comb. Probab. Comput.* 2010. Vol. 19, № 4. P. 493–516.
6. Bozdağ D. et al. A parallel distance-2 graph coloring algorithm for distributed memory computers // *Lecture Notes in Computer Science*. 2005. Vol. 3726 LNCS. P. 796–806.
7. Bärtschi A., Grandoni F. On conflict-free multi-coloring // *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Verlag, 2015. Vol. 9214. P. 103–114.
8. Nagy-György J. On the advice complexity of coloring bipartite graphs and two-colorable hypergraphs // *Acta Cybern. Univ. of Szeged, Institute of Informatics*, 2018. Vol. 23, № 3. P. 929–938.

Содержания информационной основы деятельности по укладке купола парашютной системы

Мордакин Б.Ю.

РВВДКУ, г. Рязань, Россия

Парашютные системы состоят из нескольких куполов и применяются для того, чтобы реализовать определенное движение объекта в пространстве, обеспечить требуемую скорость и траекторию снижения.

Вместе с тем для обеспечения правильной работы парашютной системы требуется её безошибочная укладка.

В нашем случае под укладкой купола парашютной системы подразумевается комплекс мероприятий подготовки, последовательного уложения полотнищ и строп купола и их проверки для обеспечения раскрытия и безопасной скорости снижения объекта до приземления.

Выполнение специалистом профессиональной деятельности по укладке купола парашютной системы потребовала описания информационной основы (ИОД), возможностью создания моделей ИОД и переносом их в тренажёр.

В работе В. Д. Шадрикова информационная основа деятельности — это совокупность информации, характеризующей предметные и субъективные условия деятельности в соответствии с вектором «Цель-результат».

ИОД в процессе деятельности функционирует как в форме целостного образа, так и в форме дискретного отражения, т.е. в виде набора отдельных признаков, сигналов, параметров.

Совокупность параметров и признаков действия по укладке купола, представим как структуру ИОД с помощью применения математического аппарата теории графов.

Модель строится по следующим правилам: вершины графа сопоставляются параметрами и признаками деятельности по укладке купола; ребра – переход от одних параметров и признакам к другим связям. Две вершины графа соединяет ребром тогда и только тогда, когда между соответствующими параметрами и признаками существует связь.

Гиперсетевая модель структуры ИОД является содержанием деятельности по укладке купола с целью правильной последовательности формирования, с учётом особенности купола, действий специалистов ВДП.

Графически гиперсети ИОД, представляют все особенности параметров и признаков. Очевидно влияние определённых параметров признаков и связей на формирование действия по безошибочной укладке.

Выводы:

1. ИОД специалиста составляют параметры их структурно-функциональные признаки, и связи между ними, основу которой составляет сенсомоторный навык.

2. Использование гиперсети позволяет построить последовательность формирования ИОД специалиста и возможность корректировки для лучшего формирования навыка специалиста при индивидуальном подходе к обучению.

3. Создание модели информационной деятельности по укладке с последующим переносом в тренажер укладки купола парашютной системы.

Content of the information basis of activity for laying the canopy of the parachute system

Mordakin B.Y.

RVVDKU, Ryazan, Russia

Parachute systems consist of several canopies and are used in order to realize a certain movement of an object in space, to provide the required speed and descent trajectory.

Error-free styling required.

Laying the canopy of the parachute system means a set of measures for preparation, sequential laying of the canopy panels and lines and their check to ensure the deployment and safe speed of descent of the object before landing.

Carrying out of the professional activity of laying the canopy of the parachute system by the specialist required the description of the information base (IOD), the possibility of creating IOD models and transferring them to the simulator.

In VD Shadrikov's work, the information basis of activity is a collection of information that characterizes the objective and subjective conditions of activity in accordance with the goal-result vector.

IOD in the process of activity functions both in the form of an integral image and in the form of discrete reflection, i.e. in the form of a set of individual signs, signals, parameters.

The set of parameters and signs of the action of laying the dome, we represent as the structure of the IOD using the theory of graphs.

Model: the vertices of the graph are compared with the parameters and signs of the activity of laying the dome; edges - transition from some parameters and features to other links. Two vertices of the graph are connected by an edge if and only if there is a connection between the corresponding parameters and features.

The hyper-network model of the IOD structure is the content of the activity for laying the dome with the aim of the correct sequence of formation, taking into account the peculiarities of the dome, the actions of the VAR specialists.

Graphically, the IOD hypernets represent all the features of parameters and attributes.

Conclusions:

1. IOD of a specialist consists of the parameters of their structural and functional characteristics, and the relationship between them, the basis of which is the sensorimotor skill.

2. The use of a hypernetwork allows to build a sequence of the formation of the IOD of a specialist and the possibility of adjustments for better formation of a specialist's skill with an individual approach to training.

3. Creation of a model of information activity on packing with subsequent transfer to the simulator of packing the canopy of the parachute system.

Моделирование прочностных свойств композитных материалов

¹Мочалова Ю.Д., ²Абгарян К.К.

¹ФИЦ ИУ РАН, г. Москва, ²МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время в различных отраслях инженерной деятельности широкое распространение получило использование композитных материалов, в первую очередь это обусловлено преимуществом таких материалов перед металлами, при равных механических и эксплуатационных свойствах. Однако, под действием некоторых внешних воздействий композитные материалы подвергаются трансформации свойств. Анализ этих процессов натурным методом и формирование доказательной базы для применения существенно замедляет темпы обоснованного применения композитных материалов. В следствие этого была предложена методика для моделирования прочностных свойств и предсказания деградационных процессов, основанная на многомасштабном моделировании и машинном обучении. Многомасштабная модель рассчитывает структуру материала на атомно-кристаллическом уровне, после чего осуществляется переход на следующие масштабные уровни к молекулярно-динамическим, дискретно-элементным, сплошносредным моделям. При этом результаты моделирования свойств на более мелком масштабном уровне используются для макроскопических моделей. Связь между масштабными уровнями осуществляется путем выделения глобальных параметров моделей. Во втором используются алгоритмы машинного обучения, в результате которых получается формула эмпирического прогноза. Классические методы машинного обучения, такие как многомерные регрессии и нейронные сети, позволяют получать точные уравнения для прогнозирования состояния свойств материалов в разные промежутки времени. В машинном обучении на основе моделей связь процесс-структура-свойство-производительность выражается условными распределениями вероятностей. В работе предложена основа для моделирования механических свойств композитных материалов с использованием многомасштабного моделирования и методов машинного обучения. Результаты показывают, что машинное обучение на основе моделей наряду с многомасштабным моделированием является многообещающим инструментом для прогнозирования состояния свойств композитных материалов.

Modeling the strength properties of composite materials

¹Mochalova Y.D., ²Abgaryan K.K.

¹FRC IM RAS, ²MAI, Moscow, Russia

Currently, in various branches of engineering, the use of composite materials is widespread, primarily due to the advantage of such materials over metals, with equal mechanical and operational properties. However, under the influence of some external influences, composite materials undergo transformation of properties. The analysis of these processes by a natural method and the formation of an evidence base for their application significantly slows down the pace of justified use of composite materials. As a consequence, a technique was proposed for modeling strength properties and predicting degradation processes, based on multiscale modeling and machine learning. The multiscale model calculates the structure of the material at the atomic-crystalline level, after which the transition to the next scale levels is carried out to molecular-dynamic, discrete-elemental, continuous-medium models. In this case, the results of modeling properties at a smaller scale level are used for macroscopic models. The connection between scale levels is carried out by highlighting the global parameters of the models. The second uses machine learning algorithms to produce an empirical prediction formula. Classic machine learning methods such as multivariate regressions and neural networks provide accurate equations to predict the state of material properties over time. In model-based machine learning, the process-structure-property-performance relationship is expressed by conditional probability distributions. The paper proposes a framework for modeling the mechanical properties of composite materials using multiscale modeling and machine learning methods. The results show that model-driven machine learning, along with multiscale modeling, is a promising tool for predicting the state of properties of composite materials.

Уточнение вращательной деформации модели вязкоупругой Земли

Мьо З.А., Скоробогатых И.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Для осесимметричной модели деформируемой Земли с вязкоупругим слоем с помощью модального подхода, определены деформации, обусловленные полюсным приливом при ее движении по инерции вокруг центра масс. Проведено сравнение вариаций центробежных моментов инерции с общепринятыми выражениями. Рассмотрены основные свойства теоретического полюсного прилива в сравнении с наблюдаемыми на основе обработки высокоточных измерений ускорения силы тяжести.

В задаче о вращении Земли и движении ее полюса такие деформации имеют существенное — определяющее значение. Следствием неупругости мантии Земли является малое смещение полюсного прилива и сдвиг фазы колебаний центробежных моментов инерции относительно колебаний земного полюса. Такое малое смещение никакой роли для практических задач не играет. Однако оно определяет амплитуду необходимого внешнего возмущения для возбуждения основного движения земного полюса. В данной работе с помощью методов нелинейной механики с бесконечным числом степеней свободы получены выражения вариаций центробежных моментов инерции, обусловленных полюсным приливом модели вязкоупругой Земли. Рассмотрено их сравнение с выражениями, рекомендуемыми к учету Международной службой вращения Земли. Проведено сопоставление основных свойств теоретического полюсного прилива с наблюдаемым на основе обработки высокоточных измерений ускорения силы тяжести.

Refinement of the rotational deformation of the viscoelastic Earth model

Myo Z.A., Skorobogatykh I.V.

MAI, Moscow, Russia

For an axisymmetric model of a deformable Earth with a viscoelastic layer, using the modal approach, the deformations caused by the pole tide during its inertial motion around the center of mass are determined. The comparison of variations of centrifugal moments of inertia with generally accepted expressions is carried out. The main properties of the theoretical pole tide are considered in comparison with those observed on the basis of processing high-precision measurements of the acceleration of gravity.

In the problem of the rotation of the Earth and the movement of its pole, such deformations have an essential — decisive importance. The consequence of the inelasticity of the Earth's mantle is a small displacement of the pole tide and a phase shift of the oscillations of the centrifugal moments of inertia relative to the oscillations of the earth's pole. Such a small bias does not play any role for practical problems. However, it determines the amplitude of the necessary external disturbance to excite the main motion of the earth's pole. In this paper, using the methods of nonlinear mechanics with an infinite number of degrees of freedom, expressions are obtained for the variations of the centrifugal moments of inertia caused by the pole tide of the model of a viscoelastic Earth. Their comparison with the expressions recommended for accounting by the International Earth Rotation Service is considered. The main properties of the theoretical pole tide are compared with the observed one on the basis of processing high-precision measurements of the acceleration of gravity.

Математическая модель теплового удара массивного тела с внутренней цилиндрической полостью

¹Ненахов Е.В., ²Карташов Э.М.

¹МАИ, ²МИРЭА, г. Москва, Россия

Рассмотрены математические модели теории теплового удара в терминах динамической и квазистатической термоупругости и их приложениям к конкретным случаям при интенсивном нагреве границы твёрдого тела. В частности, изучена термическая реакция на нагрев массивного тела с внутренней цилиндрической полостью – важный результат для многих приложений. Наличие кривизны граничной поверхности диктует постановку динамической задачи в перемещениях в условиях радиального потока теплоты. Проведены численные эксперименты, и описан волновой характер термических напряжений, а также

соответствующие им квазистатические значения. Установлена роль инерционных эффектов, заложенных в математических моделях теории теплового удара. Изучается термическая реакция на нагрев массивного тела с внутренней цилиндрической полостью – важный результат для многих приложений, в частности, при изучении температурного режима в стволе нефтяной скважины и зоны оттаивания окружающих многолетнемерзлых пород для диагностики состояния скважин и выбора оптимального режима их эксплуатации; при расчёте периодически изменяющихся температур (и в соответствующих термических напряжениях) в стенках цилиндров паровых машин и двигателей внутреннего сгорания; в теории волноводов при исследовании влияния величины изменения поперечного сечения цилиндрического проводника на температурную волну в окружающем пространстве; при изучении распространения теплоты от проложенных в земле кабелей и труб; при изучении режима охлаждения шахт и т.д. Несмотря на практическую важность, область указанной формы с радиальным потоком теплоты при формировании температурных полей начали изучать сравнительно недавно, а в термомеханике в рамках соответствующей задачи термоупругости этот вопрос до конца ещё не изучен. Специфика такого рода задач заключается с одной стороны в относительной простоте исходных математических моделей, с другой – вычислительными трудностями реализации принятой схемы получения искомого результата, и при этом, как было сказано, очевидной значимостью применения полученных соотношений в многочисленных практических ситуациях.

Mathematical model of thermal shock of a massive body with an internal cylindrical cavity

¹Nenakhov E.V., ²Kartashov E.M.

¹MAI, ²MIREA, Moscow, Russia

Mathematical models of the theory of thermal shock are considered in terms of dynamic and quasi-static thermoelasticity and their applications to specific cases with intense heating of a solid boundary. In particular, the thermal reaction to heating of a massive body with an inner cylindrical cavity was studied - an important result for many applications. The presence of the curvature of the boundary surface dictates the formulation of a dynamic problem in displacements under conditions of a radial heat flux. Numerical experiments are carried out and the wave character of thermal stresses is described, as well as the corresponding quasi-static values. The role of inertial effects inherent in mathematical models of the theory of thermal shock is established. The thermal reaction to heating of a massive body with an inner cylindrical cavity is studied - an important result for many applications, in particular, when studying the temperature regime in the oil wellbore and the thawing zone of the surrounding permafrost for diagnosing the state of wells and choosing the optimal mode of their operation; when calculating periodically changing temperatures (and in the corresponding thermal stresses) in the cylinder walls of steam engines and internal combustion engines; in the theory of waveguides in the study of the influence of the magnitude of the change in the cross-section of a cylindrical conductor on a temperature wave in the surrounding space; when studying the spread of heat from cables and pipes laid in the ground; when studying the cooling regime of mines, etc. Despite the practical importance of the region of this shape with a radial heat flux during the formation of temperature fields, they began to study relatively recently, and in thermomechanics, within the framework of the corresponding problem of thermoelasticity, this issue has not yet been fully studied. The specificity of this kind of problems lies, on the one hand, in the relative simplicity of the initial mathematical models, on the other hand, in the computational difficulties of implementing the adopted scheme for obtaining the desired result and, at the same time, as it was said, in the obvious importance of using the obtained relations in numerous practical situations.

Метод генерации лингвистических правил из имеющихся данных для синтеза нечеткого регулятора в задаче стабилизации подводного аппарата

Пантелеев А.В., Лунева А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается проблема синтеза нечеткого регулятора при наличии неполных данных о состоянии объекта в задаче стабилизации подводного аппарата, движущегося в вертикальной плоскости с постоянной продольной скоростью хода. При разработке нечетких систем имеется необходимость приглашения специалистов для составления таблицы нечетких лингвистических правил, которые на основании практического опыта и знания желаемых требований, предъявляемых к системе управления, могут однозначно определить лингвистические правила вывода. Альтернативой является применение метода генерации правил из имеющихся данных, позволяющего построить нечеткую систему правил вывода на основании результатов имитационного моделирования поведения объекта управления.

Положение подводного аппарата характеризуется вектором состояния из трех координат. Управление производится по одному каналу.

Математическая модель движения подводного аппарата определяется системой линейных дифференциальных уравнений.

Одним из возможных решений данной задачи является минимизация квадратичного критерия с помощью оптимального линейного регулятора. Процедура нахождения регулятора сводится к нахождению положительно определенного решения алгебраического уравнения Риккати. В результате находятся коэффициенты усиления регулятора. При помощи моделирования замкнутой системы объект-регулятор можно получить данные об оптимальных переходных процессах и затем использовать для генерации лингвистических правил. В работе рассматривается решение задачи с использованием аппарата нечеткой логики: синтезируется нечеткий регулятор с тремя входными переменными (углом дифферента, углом отклонения кормовых горизонтальных рулей, угловой скоростью) и одной выходной (управлением) при помощи метода генерации лингвистических правил вывода на основе моделирования.

Сформулирован и программно реализован алгоритм генерации лингвистических правил вывода по полученным в результате моделирования данным. Программа строит нечеткую систему, где таблица правил составляется на основе введенных пар данных, где первый элемент пары – вектор состояния, а второй – значение управления. Для формирования лингвистических правил на вход программы подаются все возможные комбинации характерных значений входных переменных. Программа реализована в системе компьютерной математики MATLAB, где работа нечеткой системы вывода была реализована с помощью встроенного пакета FuzzyLogicToolbox.

Method of generation of fuzzy rules by learning from existing data for fuzzy controller synthesis in the problem of underwater vehicle stabilization

Panteleev A.V., Luneva A.A.

MAI, Moscow, Russia

The problem of fuzzy controller synthesis with incomplete data about object's state in the underwater vehicle moving at constant speed in the vertical plane stabilization problem is considered. When developing fuzzy systems there is a need to invite experts that have enough experience in the required field and can uniquely define fuzzy rules, based on the requirements for control system. An alternative is to use generating fuzzy rules from existing data method, that makes it possible to build a fuzzy logic system based on the results of plant's behavior simulation.

Underwater vehicle's position is characterized by state vector with three coordinates. Control is carried out through one channel.

The mathematical model of the underwater vehicle motion is determined by a system of linear differential equations.

One of the possible solutions of this problem is to minimize quadratic criterion using optimal linear controller. Procedure for finding the controller tends to finding a positive definite solution of

Riccati equation. As the result the regulator gains are being found. Using a self-closed system object-controller simulation the information on optimal transition can be obtained and then used for generation of fuzzy rules. The paper considers the problem solution through fuzzy logic: a fuzzy controller with three input variables (trim angle, aft horizontal rudder angle of dip, angular velocity) and one output variable (control) is being synthesized through generation of fuzzy rules based on the results of modeling.

The algorithm of generation of fuzzy rules from the results of modeling is formulated and program-realized in the paper. The program is building a fuzzy logic system, in which the fuzzy rules base is being formed based on entered data pairs, where the first element is state vector and the second one is control value. All possible combinations of input data are being entered to form the fuzzy rules base. The program was made with mathematical system MATLAB, built-in package FuzzyLogicToolbox was used for the implementation of fuzzy logic system work.

Применение модифицированного самоорганизующегося миграционного алгоритма MSOMA в задачах поиска оптимального программного управления

Пантелеев А.В., Ракитянский В.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается применение нового метода глобальной оптимизации (MSOMA) для решения задачи оптимального программного управления нелинейными непрерывными детерминированными динамическими системами. Задача сводится к проблеме параметрической оптимизации, которая решается с помощью модификации самоорганизующегося миграционного алгоритма, предложенной авторами.

Поведение нелинейной детерминированной непрерывной модели объекта управления описывается дифференциальным уравнением с заданными начальными условиями. Предполагается, что при управлении используется информация только о времени, т.е. система управления является разомкнутой по состоянию и применяется программное управление. Качество управления отдельной траекторией оценивается величиной функционала Больца. Ставится задача минимизации функционала на множестве допустимых процессов, т.е. множестве пар, образованных траекторией и управлением, удовлетворяющих дифференциальному уравнению модели, начальному условию, ограничениям на управление.

Для решения задачи применяется аппроксимация закона управления кусочно-постоянными или кусочно-линейными функциями времени, удовлетворяющих параллелепипедным ограничениям. Для нахождения параметров, задающих вид аппроксимирующих функций, применяется модифицированный самоорганизующийся миграционный алгоритм MSOMA, который имитирует эволюцию начальной популяции и представляет собой итерационный процесс, исследующий множество допустимых решений. Начальная популяция создается из индивидов (решений) со случайно сгенерированными координатами из заданного промежутка. После чего реализуются миграционные циклы, в которых происходит поиск экстремального значения целевой функции.

В работе разработана стратегия поиска, пошаговый алгоритм и соответствующее программное обеспечение приближенного решения задачи оптимального программного управления непрерывными динамическими системами. Приведенный алгоритм и программа апробированы на примерах решения задачи оптимального управления химическим процессом в смешивающем реакторе и сингулярной задачи оптимального управления. Исследовано влияние параметров алгоритма MSOMA на качество полученного результата. Приведено сравнение работы алгоритма с известным решением, с решением при помощи оригинального метода SOMA, а также при различных способах аппроксимации управления. Даны рекомендации по выбору параметров алгоритма. Полученные результаты расчетов подтвердили возможность получения достаточно хорошего решения за приемлемое время.

Application of the modified self-organizing migration algorithm MSOMA in the problem of finding the optimal open-loop control

Pantelev A.V., Rakityansky V.M.

MAI, Moscow, Russia

The method of global optimization (MSOMA) for the problems of optimal open-loop control of continuous deterministic dynamical systems is considered. The optimal control problem is reduced to the task of parametric optimization, which is solved using a modification of the self-organizing migration algorithm proposed by the authors.

Behavior of a deterministic continuous model is described by a system of ordinary differential equations with given initial conditions. It is assumed that only time information is used during control, i.e. the open-loop control is applied. The quality of the trajectory control is estimated by the value of the Bolz functional. The problem is posed of minimizing the functional on the set of admissible processes, i.e. the set of pairs formed by the trajectory and control that satisfy the differential equation of the model, the initial condition, and control constraints.

To solve the problem, the control law is approximated by piecewise-constant or piecewise-linear functions of time that satisfy parallelepiped constraints. To find the parameters that specify the form of the approximating functions, we use the modified self-organizing MSOMA algorithm, which simulates the evolution of the initial population and is an iterative process that examines the set of feasible solutions. The initial population is created from individuals (solutions) with randomly generated coordinates from a given interval. After that, migration cycles are implemented, in which the search for the extreme value of the function takes place.

As a result the search strategy, the step-by-step algorithm and the corresponding software for the approximate solution of the optimal control problem of continuous dynamical systems are developed. The presented algorithm and program are tested on examples of solving the optimal control problem for a chemical process in a mixing reactor and a singular problem of optimal control. The influence of the parameters of the MSOMA algorithm on the quality of the obtained result is investigated. Comparison of the operation of the algorithm with a known solution and obtained by the original SOMA method, and with other control approximation methods is given. Recommendations on the algorithm parameters choice are given. The results obtained confirmed the receipt of a good solution in a reasonable time.

Приближенные методы H -infinity управления в задаче стабилизации самолета на конечном промежутке времени

Пантелеев А.В., Яковлева А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается проблема нахождения H -infinity регулятора в задаче стабилизации самолета, полет которого совершается на протяжении конечного промежутка времени. Методы нахождения H -infinity управления используются наряду с классическими методами теории управления. Однако, при решении задач синтеза регуляторов в условиях неполной информации о состоянии объекта управления часто представляется сложным найти структуру регулятора. Данная ситуация усложняется за счет наложенных ограничений на время функционирования системы.

Положение самолета характеризуется вектором состояния. Управление производится по одному каналу, при этом ограничений на величину управляющего воздействия не накладывается.

Математическая модель движения самолета определяется системой линейных дифференциальных уравнений, в которую входят матрицы, характеризующие объект управления, влияние управления на состояние объекта, а также степень воздействия внешних возмущений на систему. Минимизация влияния внешних возмущений происходит путем получения оптимального H -infinity регулятора, минимизирующего отношение энергии выходного сигнала к энергии входного воздействия. Должна обеспечиваться асимптотическая устойчивость замкнутой системы.

Задано начальное состояние системы. Уравнение измерительной системы задано линейной моделью и связывает вектор выхода с вектором состояния посредством матрицы, учитывающей неполноту измерений. Критерий качества – квадратичный, он описывает требования к переходным процессам, возникающим в замкнутых системах вида «объект-регулятор», а также интегральным затратам на управление.

В работе сформулированы достаточные условия H -infinity управления. Найдены законы управления моделью рассматриваемого объекта, внешними воздействиями. В рамках работы были предложены два приближенных метода нахождения H -infinity регулятора. Первый из них связан с нахождением псевдорешения линейной модели измерительной системы и его использованием в управлении, а второй – с синтезом наблюдателя состояния, вырабатывающего оценку вектора состояния, и использованием оценки в управлении.

На основе сформулированного алгоритма был создан комплекс программ, служащий для реализации методов приближенного синтеза H -infinity регуляторов по выходу динамических систем с конечным временем функционирования. Для реализации использовался математический пакет MATLAB.

Approximate methods for H -infinity control in the problem of aircraft stabilization in finite time interval

Pantelev A.V., Yakovleva A.A.
MAI, Moscow, Russia

The problem of finding the H -infinity regulator in the airplane stabilization problem in finite period of time is considered. Methods for finding H -infinity control are used along with classical methods of control theory. However, it is often difficult to find the structure of the controller and control law when solving the problem of synthesis of controllers in conditions of incomplete state information. This situation is complicated by the imposed restrictions on the time of the system operation.

State vector gives information about the aircraft position. Control is carried out through one channel, while no restrictions are imposed on the magnitude of the control action.

The mathematical model of the aircraft motion is determined by a system of linear differential equations, which includes matrices characterizing the control object, the influence of control on the state of the object, and the degree of influence of external disturbances on the system. Minimization of the influence of external disturbances occurs by obtaining an optimal H -infinity controller. It minimizes the ratio of the output signal energy to the input stimulus energy. The asymptotic stability of the closed system must be ensured.

The initial state of the system is set. The equation of the measuring system is described by a linear model and connects the output vector to the state vector by means of a matrix that takes the incompleteness of measurements into account. The quality functional is quadratic, it describes the requirements for transient processes in closed-loop systems and the integral costs of control.

Sufficient conditions for H -infinity control are formulated. Control law of the object is considered, external influences are found. Within the framework of the work, two approximate methods for finding the H -infinity controller were proposed. The first one is associated with finding a pseudo-solution of the linear model of measuring system as well as with its use in control, the second one – with the synthesis of a state observer generating an estimate of the state vector and its application in control.

Complex of programs which serves to implement methods of approximate synthesis of H -infinity controllers for the output of dynamic systems with a finite operating time was created based on the formulated algorithm. Mathematical package MATLAB was used for the implementation.

Анализ аналитического решения одномерного волнового уравнения в задаче диффузии

Пивоваров Д.Е., Кузнецов Е.Б.
МАИ, г. Москва, Россия

Процессы диффузии обычно описываются уравнением теплопроводности, где в роли коэффициента теплопроводности выступает коэффициент диффузии. Это

параболическое уравнение, вывод которого основан на предположении независимости концентрации от скорости ее изменения. Скорость изменения концентрации в такой модели устремляется к бесконечности, что противоречит выводам кинетической теории о конечной скорости передачи импульса на микроуровне. Для большинства задач такое приближение позволяет получить ответ в пределах погрешности начальных данных. Но при высоких градиентах, которые могут возникнуть при резком изменении условий окружающей среды, возмущение поля концентрации распространяется с конечной скоростью, образуя фронт возмущения в виде бегущей волны. Точное аналитическое решение задачи требует учета большого числа членов ряда в самом начале процесса диффузии. Упрощенное решение этого уравнения может быть представлено в виде кусочно-полиномиальной функции невысокой степени с разрывом на границе фронта волны. Скорость распространения волны пропорциональна в этом случае квадратному корню от времени.

Для учета волнового характера движения можно воспользоваться гиперболическим уравнением, которое выводится в предположении зависимости концентрации от скорости ее изменения. Скорость распространения волны при данном подходе постоянная и оценивается временем релаксации. Несмотря на сложность численного решения гиперболического уравнения для одномерного случая возможно получить аналитическое решение, которое и исследуется в настоящей работе.

Рассматривается задача диффузии элементов окружающей среды в образец прямоугольной формы, одно из измерений которого устремляется к бесконечности, а другое к нулю. Таким образом, ставится плоская-симметричная задача. В начальный момент времени концентрации элементов равна нулю, а на границах она поддерживается постоянной. Аналитическое решение определяется с помощью дискретного преобразования Фурье по пространственной координате и непрерывного преобразования Лапласа по временной координате.

Проведено сопоставление полученного решения с приближенным решением параболического уравнения, основанного на представлении решения в виде полинома с разрывом на фронте волны. Показано, что для получения приближенного решения возможно использовать небольшое число гармоник решения волнового уравнения. Проведены оценки интегральных характеристик движения.

Analysis of the analytical solution of a one-dimensional wave equation in the diffusion problem

Pivovarov D.E., Kuznetsov E.B.
MAI, Moscow, Russia

Diffusion processes are usually described by the thermal conductivity equation, where the diffusion coefficient acts as the thermal diffusivity coefficient. This is a parabolic equation, the conclusion of which is based on the assumption that the concentration is independent of the rate of change. The rate of change in concentration in such a model tends to infinity, which contradicts the conclusions of the kinetic theory about the finite rate of momentum transfer at the micro level. For most problems, this approximation allows you to get an answer within the error of the initial data. But at high gradients, which can occur when the environmental conditions change sharply, the perturbation of the concentration field propagates at a finite speed, forming a perturbation front in the form of a traveling wave. An accurate analytical solution to the problem requires taking into account a large number of series members at the very beginning of the diffusion process. A simplified solution to this equation can be represented as a piecewise polynomial function of low degree with a discontinuity at the boundary of the wave front. In this case, the wave propagation velocity is proportional to the square root of time.

To account for the wave nature of the movement, you can use a hyperbolic equation, which is derived under the assumption that the concentration depends on the speed of its change. The wave propagation velocity in this approach is constant and is estimated by the relaxation time. Despite the complexity of the numerical solution of the hyperbolic equation for the one-dimensional case, it is possible to obtain an analytical solution, which is investigated in this paper.

We consider the problem of diffusion of environmental elements into a rectangular sample, one of the dimensions of which tends to infinity, and the other to zero. At the initial time, the concentration of elements is zero, and at the boundaries it is constant. The analytical solution is determined using a discrete Fourier transform over the spatial coordinate and a continuous Laplace transform over the time coordinate.

The obtained solution is compared with an approximate solution of a parabolic equation based on the representation of the solution as a polynomial with a discontinuity at the wave front. It is shown that to obtain an approximate solution, it is possible to use a small number of harmonics for solving the wave equation. The integral characteristics of the movement are evaluated.

Аналитические исследования применения плунжерных пар из синтетического корунда в силовой гидравлике беспилотной техники

Пузанов А.В., Косорукова О.В., Котов В.В.

КГТА, г. Ковров, Россия

Для беспилотной техники характерны жесткие требования по массогабаритным показателям, а также расширение диапазона внешних нагрузок (силовых, температурных, вибрационных и т.п.) – ввиду отсутствия необходимости обеспечения комфортных условий работы операторов и пассажиров. Эти факторы приводят к необходимости более тщательной проработки конструкций и применению современных средств их анализа и синтеза.

Для гидравлических компонентов приводов, одним из направлений развития эксплуатационных характеристик стало использование в качестве конструкционного технического керамики, а конкретно – синтетического корунда (лейкосапфира).

Низкие коэффициенты трения и теплового расширения позволяют повысить до 100% объемный КПД, существенно снизить механический КПД и тепловыделение гидравлических устройств, что отражается на снижении их массогабаритных показателей и повышении удельной мощности. Это является стимулом роста востребованности подобных устройств для гидроприводов, особенно используемой в беспилотной технике.

В качестве аналитических исследований в мультидисциплинарном ПО был проведен сравнительный анализ работоспособности плунжерной пары аксиально-плунжерной гидромашин, выполненной из лейкосапфира со штатной конструкцией.

В результате этих исследований было определено: замена материала плунжера из высокопрочной стали на сапфир, при сохранении конструктивной геометрии приводит к уменьшению максимальных напряжений на 4,7%, контактных напряжений на 4,7%, деформации на 44%, а также снижению веса на 49%.

Таким образом, простая замена материала конструктивного узла «плунжер» позволит улучшить технические параметры изделия: динамику облегченной ходовой части, надежность и долговечность плунжера, износостойкость трибопар.

Однако для более качественной модернизации трибопар гидромашин силовой гидравлики требуется дополнительная конструктивная проработка, направленная на изменение геометрического облика плунжерной группы. В результате конструктивной проработки следует ожидать 1,5-2х кратного улучшения вышеприведенных параметров.

Стоит отметить необходимость исключения ударных и высоко динамичных воздействий для сопряженных узлов – по причине хрупкости материала.

В настоящее время проводятся экспериментальные испытания гидромашин с лейкосапфировой плунжерной группой. Целью эксперимента является получение характеристик выносливости и построения кривой усталости.

Analytical researches of the application of synthetic corundum plunger pairs in power hydraulics of pilotless equipment

Puzanov A.V., Kosorukova O.V., Kotov V.V.

KSTA, Kovrov, Russia

Pilotless equipment are characterized by stringent requirements for weight and dimensions, as well as expanding the range of external loads (power, temperature, vibration, etc.) – due to the lack of the need to ensure comfortable working conditions for operators and passengers. These factors

lead to the need for a more thorough research of structures and the use of modern tools of their analysis and synthesis.

For hydraulic components of drives, one of the directions of development of operational characteristics has become the use of synthetic corundum (leucosapphire) as structural engineering ceramics.

Low coefficients of friction and thermal expansion make it possible to increase volumetric efficiency to 100%, significantly reduce mechanical efficiency and heat generation of hydraulic devices, which is reflected in reduction of their weight and size indices and increase of specific power. This increases the demand for a hydraulic drive, especially used in pilotless equipment.

As an analytical research in multidisciplinary software, a comparative analysis of the operation of the plunger assembly of an axial hydraulic machine made of leucosapphire and basic design was carried out.

As a result of these studies, it was determined: replacement of the plunger material from high-strength steel with sapphire, while maintaining the structural geometry, leads to a decrease in maximum stresses by 4.7%, contact stresses by 4.7%, deformation by 44%, weight by 49%.

Thus, a simple replacement of the material of the structural element "plunger" will improve the technical parameters of the machine: the dynamics of the lightweight running gear, the reliability and durability of the plunger, and the wear resistance of tribopairs.

For better modernization of the components of power hydraulics, additional design study, geometry of the plunger group is required. As a result of structural improvement, it is expected to improve the parameters 1.5-2 times.

Impact must be avoided for conjugated assemblies due to brittleness of the material.

Currently, experimental tests of a hydraulic machine with a leucosapphire plunger are underway. The purpose of the experiment is to obtain endurance characteristics and build a fatigue curve.

Об относительном движении космической тросовой системы, оснащенной неидеальным солнечным парусом

Родников А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Изучаются движения элементов космической тросовой системы, состоящей из массивной гелиоцентрической орбитальной станции (ОС) и лёгкого космического аппарата (КА), оснащённого солнечным парусом, и чьё движение так или иначе ограничено тросом, один или оба конца которого закреплены на станции. Изучается ситуация, когда солнечный парус не идеален в том смысле, что его поверхность не полностью отражает солнечную радиацию, частично её поглощая. Рассматриваются две ситуации. В первом случае изучается движение КА вдоль прямолинейного троса. Устанавливается, что если трос расположен под острым углом к направлению на Солнце, то солнечная радиация может вызывать движение КА в сторону Солнца, но только в случае если этот острый угол будет больше арксинуса коэффициента отражения. В противном случае возникает ситуация, аналогичная явлению, обозначаемому в парусном судовождении термином «левентик». Определяется ориентация солнечного паруса, обеспечивающая максимально возможное ускорение КА при движении вдоль троса. При этом отмечается, что выбор положения солнечного паруса в соответствии с рекомендациями руководств по парусному судовождению, хотя и не совпадает с оптимальным, в реальной ситуации оказывается лучше, чем даже оптимальный выбор для идеально отражающего паруса. Во втором случае изучается динамика движения КА относительно ОС, если они связаны тросом. В этом случае, если считать трос нерастяжимым, движение КА оказывается ограниченным некоторой сферой. Проводится сравнение различных типов движений КА по этой сфере для случаев идеального и неидеального солнечного паруса. В частности, устанавливаются ограничения на периодические движения КА вдоль плоских сечений сферы, связанные с неидеальностью материала паруса. Изучается вопрос достижимости ближайшей к Солнцу точки сферы

On Relative Motions of a Space Tether System Equipped with an Imperfect Solar Sail

Rodnikov A.V.

MAI, Moscow, Russia

We study motions of components of a space tether system consisted of a massive heliocentric orbital station and a light spacecraft equipped with a solar sail, if the spacecraft motion is somehow restricted by a tether with one or both ends fixed in the orbital station. We suppose that the solar sail is imperfect, i.e. the solar sail surface does not reflect the solar radiation completely, partially absorbing it. Two cases are considered. In the first case, the spacecraft motion along a rectilinear tether is studied. It is established that if the tether is located at an acute angle to the direction to the Sun, then solar radiation can cause the spacecraft to move towards the Sun, but only if this acute angle is greater than the arcsine of the coefficient of reflection. Otherwise, a situation similar to the phenomenon denoted in sailing by the term "head to wind" takes place. We specify the solar sail orientation which provides the spacecraft maximum acceleration for motions along the tether. At the same time, we note that the choice of the solar sail position in accordance with the recommendations of the sailing manuals, although it does not coincide with the optimal one, but in a real situation turns out to be better than even the optimal choice for a perfect sail. In the second case, the spacecraft dynamics relative to the orbital station is studied if they are connected by a cable. In this situation, if the tether might be assumed inextensible, the spacecraft motion is restricted by a certain sphere. Features of various types of the spacecraft motions along this sphere for cases of the perfect and imperfect solar sail are compared. In particular, we study specificities of the spacecraft periodic motions along flat sections of the sphere, which are caused by the sail material imperfection. Also, the reachability of the sphere point closest to the Sun is discussed.

Разработка программного комплекса обнаружения объектов на изображениях, полученных космическими радиолокаторами с синтезированной апертурой антенны

Савченко Б.С., Вьюков Н.А., Елизаветин И.В., Соболев А.В.

АО «Ракурс», г. Москва, Россия

Целью работы, результаты которой, представлены в настоящем докладе, является создание программного комплекса для обнаружения искусственных объектов на изображениях, полученных с радара с синтезированной апертурой (РСА) космического базирования. Такие преимущества радиолокационной съёмки, как независимость от погодных условий и условий освещенности, открывают потенциал для использования таких изображений в широком спектре задач из разных сфер, в частности, для решения задач обнаружения и классификации техники на представляющей интерес территории.

Наиболее актуальным способом решения задач детектирования и классификации объектов на изображениях является применение свёрточных нейронных сетей, для корректной работы которых, требуется большой набор обучающих данных. В связи со спецификой радиолокационной съёмки, количество радиолокационных портретов искусственных объектов какого бы то ни было класса, сильно ограничено, отсутствуют наборы таких данных для разных углов наблюдений РСА и ракурса объектов, что порождает острую необходимость в создании синтетических данных.

В настоящем докладе приводятся разработанные методы формирования искусственных эталонов, их приведение к реальному виду интересующей техники. Приводится алгоритм анализа корреляционной функции от эталона и реального портрета интересующего объекта, на основании которого, построен процесс отбора наиболее похожих эталонов. Даются рекомендации, по созданию обучающей выборки нейронной сети, описывается алгоритм формирования отдельного изображения обучающей выборки для Faster-RCNN. Приводится общий алгоритм работы комплекса и параметры нейросети, влияющие на конечную точность обнаружения.

Проведена оценка точности детектирования на данных, полученных с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.

Development of methods for detecting objects in images obtained by space radars with synthesized antenna aperture

Savchenko B.S., Vyukov N.A., Elizavetin I.V., Sobolev A.V.
JSC "Racurs", Moscow, Russia

The main goal of this report to present the results of software package creating, intended for detecting objects in images received from a space-based synthetic aperture radar (SAR). The advantages of radar imaging, such as independence from weather and light conditions, open up the potential for using such images in a wide range of tasks, for example, in solving problems of detecting and classifying objects.

The most common way to solve problems of detecting and classifying objects on images is to use convolutional neural networks, which require a large set of training data to work correctly. Due to the specifics of radar surveys, the quantity of radar portraits of objects of our interest is highly restricted. In common practice, there are no sets of such data for different angles of observation and different ground orientation of objects, which we want to detect. The conditions regarded above, require creating of synthetic radar data.

This report presents the developed methods for forming synthetic etalons. It shows the way of making etalons to be the most similar with the real portraits of interested objects. In addition, it provides an algorithm for analyzing the correlation function from the generated etalon and the real portrait of the object of our interest. This algorithm is focused on selecting of the most similar etalons. Some recommendations for creating a training dataset of the neural network are given. The algorithm of generating a single image of the training dataset for Faster-RCNN is describing. The general algorithm of working of the complex and giving parameters of the neural network that affect the final detection accuracy is presented.

The accuracy of detection based on data received from a space-based SAR has been evaluated.

Исследование вынужденных колебаний микромеханического гироскопа с учетом неортогональности осей торсионов

Сайпулаев М.Р.
НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия

Создание высокоточных микромеханических гироскопов (ММГ) для решения задач навигации и управления движением подвижных объектов является актуальной задачей приборостроения [1].

В целях повышения точности ММГ в данной работе исследуются вынужденные стационарные колебания чувствительного элемента микромеханического гироскопа R-R типа на подвижном основании с учетом явлений разночастотности, а также эффектов, возникающих из-за неортогональности осей торсионов. Неортогональность осей торсионов появляется в виду погрешностей технологии изготовления и сборки прибора.

Рассматривается конструкция ММГ с промежуточной рамкой, в которой чувствительный элемент состоит из сбалансированной пластины и инерционной массы. При построении математической модели предполагается, что угловая скорость основания прибора является малой по сравнению с частотой собственных колебаний чувствительного элемента.

Поставлена задача повышения точности ММГ путем построения новой математической модели колебаний чувствительного элемента ММГ с учетом указанных выше инструментальных погрешностей и аналитической компенсации ухода гироскопа в линейном приближении.

Исследование уравнений движения ММГ проводится методом осреднения [2] в случае малых колебаний обобщенных координат. Проведенный анализ осредненных уравнений движения показывает наличие систематических погрешностей гироскопа, обусловленных инструментальными погрешностями изготовления. Результаты исследования позволяют повысить точность ММГ за счет алгоритмической компенсации систематического дрейфа гироскопа [3]. В работе предложены методы оценивания угловой скорости объекта, оснащенного ММГ рассматриваемого типа, в которых учитываются погрешности технологии изготовления и сборки прибора.

Литература:

1. Пешехонов В. Г. Современное состояние перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация. – 2011. – № 1. – с. 3–16.
2. Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974. 503 с.
3. Меркурьев И. В., Подалков В. В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 228 с.

Research of forced vibrations of a micromechanical gyroscope taking into account the non-orthogonality of the axes of torsion

Saypulaev M.R.

NRU “МПЕГ”, Moscow, Russia

The creation of high-precision micromechanical gyroscopes (MMG) for solving problems of navigation and control of the movement of moving objects is an urgent task of instrumentation [1].

In order to improve the accuracy of the MMG, in this work, we research forced stationary oscillations of the sensitive element of an R-R type micromechanical gyroscope on a moving base, taking into account the phenomena of different frequencies, as well as the effects result from the nonorthogonalities of the torsion axes. The non-orthogonality of the torsion axes appears due to errors in the manufacturing and assembly technology of the device.

We consider the design of the MMG with intermediate frame, in which the sensitive element consists of a balanced plate and the inertial mass. When constructing a mathematical model, it is assumed that the angular velocity of the base of the device is small in comparison with the frequency of natural vibrations of the sensitive element.

The problem of increasing the accuracy of the MMG by constructing a new mathematical model of oscillations of the sensitive element of the MMG taking into account the instrumental errors and analytical compensation of the gyroscope drift in the linear approximation is posed.

The study of the equations of motion of the MMG is carried out by the averaging method [2] in the case of small oscillations of the generalized coordinates. The performed analysis of the averaged equations of motion shows the presence of systematic errors of the gyroscope caused by instrumental errors in manufacturing. The research results make it possible to improve the accuracy of the MMG due to algorithmic compensation for the systematic drift of the gyroscope [3]. In the work, methods for estimating the angular velocity of an object equipped with an MMG of the type under consideration, which take into account the errors of the manufacturing and assembly technology of the device, have been proposed.

References:

1. Peshkhonov V.G. The current state of the prospects for the development of gyroscopic systems // *Гироскопия и навигация*, 2011, no.1, pp.3-16
2. Bogolyubov N.N., Mitropolskiy Yu.A. *Asimptoticheskiye metody v teorii nelineynykh kolebaniy.* (Asymptotic methods in the theory of nonlinear oscillations), Moscow, Nauka, 1974, 503p.
3. Merkur'yev I.V., Podalkov V.V. *Dinamika mikromekhanicheskogo i volnovogo tverdotelnogo giroskopov.* (Dynamics of micromechanical and wave solid-state gyroscopes), Moscow, Fizmatlit, 2009, 228p.

Выбор проекта летательного аппарата с учётом коэффициентов важности критериев

Смерчинская С.О., Фролова Н.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Задачи многокритериального выбора являются одним из самых распространенных типов задач, возникающих при принятии решений. Мы сталкиваемся с ними в различных отраслях промышленности, в том числе и на всех этапах проектирования, создания и эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники. Ответственность за жизнь людей, инвестиции, репутация отрасли и страны в целом – все это не должно подвергаться риску принятия неправильных решений.

В статье [1] был предложен алгоритм решения задачи агрегирования предпочтений с учетом важности критериев. На основе этого алгоритма было разработано программное средство, позволяющее получить агрегированное отношение при условии балльного оценивания альтернатив по заданным критериям с учетом коэффициентов важности.

Опишем интерфейс программы.

Лицу, принимающему решения (ЛПР), требуется ввести ряд данных: количество и названия альтернатив, а затем соответствующую информацию по критериям. После чего для каждого критерия выбирается диапазон числовой шкалы (по умолчанию от 0 до 10) и максимизируются или минимизируются оценки по шкале критериев. Также можно ввести коэффициенты важности по каждому из критериев (от 1 до 5). По умолчанию все коэффициенты важности равны 1. Далее начинает работать алгоритм:

1. Составляется матрица предпочтений.
2. Вычисляется матрица суммарных предпочтений и матрица смежности соответствующего мажоритарного графа.
3. Вычисляется матрица суммарных предпочтений и матрица смежности с учетом коэффициентов важности критериев.
4. Вычисляется матрица агрегированного предпочтения как транзитивное замыкание отношения с разрушенными противоречивыми контурами.

Итогом работы программы являются ранжированные по предпочтительности альтернативы.

Особенностью предлагаемой программы является ее невысокая алгоритмическая сложность $O(n^3)$, которая возникает только при выполнении операции транзитивного замыкания, что позволяет обрабатывать большие объемы данных.

В результате разработанное программное средство значительно упрощает выбор оптимального варианта решения. В дальнейшем планируется добавить алгоритм нахождения коэффициентов важности критериев на основе точек безразличия альтернатив, полученных в процессе диалога с ЛПР.

Selection of aircraft project based on importance coefficients criteria

Smerchinskaya S.O., Frolova N.A.

MAI, Moscow, Russia

The problems of multi-criteria choice are one of the most common types of problems in decision-making. We encounter them in various industries, including all phases of the design, development and operation of aviation, rocket and space technology. Responsibility for the lives of people, investments, the reputation of the industry and the country – all this should not be at risk of making the wrong decisions.

In the article [1], an algorithm was proposed for solving the problem of aggregating preferences, taking into account the importance of criteria. The software was developed based on this algorithm. It allows one to obtain an aggregated relation while scoring the alternatives by specified criteria, taking into account the importance coefficients.

Describe the program interface.

The Decision maker (DM) needs to enter a series of data: the number of alternatives and their names, then the same information about the criteria is requested. After that, for each criterion, a range of a numerical scale is selected (from 0 to 10 by default) and it is maximized or minimized, and the importance of each criterion from 1 to 5. Next, the algorithm begins to work:

1. Constructing the matrix of preferences.
2. Calculating the matrix of total preferences and the adjacency matrix of the corresponding majority graph.
3. Calculating the matrix of total preferences and the adjacency matrix, taking into account the importance of criteria.
4. Calculating the matrix of the aggregated preference as a transitive closure of a relation with destroyed contradictory contours.

The result of the program is the alternatives ranked according to their preference.

A feature of the proposed program is low algorithmic complexity $O(n^3)$, which occurs only when performing a transitive closure operation, which makes it possible to process large amounts of data.

As a result, the developed software greatly simplifies the choice of the optimal solution. In the future, it is planned to add an algorithm for finding the criteria importance coefficients based on the points of indifference of alternatives obtained during the dialogue with the DM.

Исследование преломления траектории ударника при проникании в грунтовые среды

¹Сопин С.В., ¹Качурина Е.С., ²Дяченко И.А.

¹ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ²ООО «Газпром-Проектирование»,
г. Нижний Новгород, Россия

Исследования взаимодействия твердого упругого тела с грунтовой средой – актуальная проблема механики сплошной среды. Они имеют важное научное и прикладное значения. Задачи решаются как аналитическими методами, так и численными. Аналитические методы определяют общую закономерность проникания тела в грунт в диапазоне основных параметров задачи и свойств грунта. Сложность и многообразие механических свойств грунтов сводит аналитические методы к приближенному виду, но, несмотря на это, они позволяют получать базовые выражения для параметров проникания: усилия сопротивления, скорости движения при проникании, формы траектории проникания в зависимости от формы тела, положения центра масс тела и параметров среды. Численные методы, используя математические модели, основанные на физико-механических свойствах грунтов, позволяют довольно точно исследовать процесс проникания тела в грунт, варьируя параметрами задачи.

Вопрос о траектории движения тела при косом входе в грунтовую среду изучен мало. При наибольшем удалении от поверхности раздела сред влияние граничных условий на движение тела будет ничтожно мало, что подтверждается многими экспериментами. Необходимо определить взаимосвязь угла подхода тела к поверхности среды и угла удаления тела при движении в ней.

Численное решение задачи проникания проводилось со следующими исходными данными: трехмерная постановка, проникание тела по инерции со скоростью 200 м/с, используется математическая модель сухого песчаного грунта.

Расчеты проводились итерационно, варьируя параметрами задачи: положение центра масс тела, угол косого входа в среду, форма тела.

Зависимости траектории проникания тела описывались с использованием, аналогично оптике, коэффициента преломления, равного отношению угла подлета косого входа к углу удаления во время движения в среде.

По итогам расчетных исследований:

- Траектория проникания тела в среду носит нелинейный характер.
- Использование коэффициента преломления в описании траектории проникания тела дает достаточное представление зависимости траектории от рассматриваемых параметров задачи.
- Траектория проникания состоит из двух участков: на первом участке наибольшее влияние оказывает угол подлета косого входа, на втором – положение центра масс тела.
- Полученные данные позволяют получить аналитическую зависимость траектории проникания тела от основных параметров, используемую в задачах оптимизации формы тела с учетом свойств грунтов.

Investigation of the refraction of the projectile trajectory during penetration into soil media

¹Sopin S.V., ¹Kachurina E.S., ²Dyachenko I.A.

¹Lobachevsky University, ²Gazprom-Proektirovanie Ltd, Nizhny Novgorod, Russia

Investigation of the interaction of a rigid elastic body with a soil medium is an urgent problem of continuum mechanics. They are of great scientific and applied value. The tasks are solved both by analytical and numerical methods. Analytical methods determine the general regularity of body penetration into the soil in the range of the main parameters of the problem and soil properties. The complexity and diversity of the mechanical properties of soils reduces analytical methods to an

approximate form, but, despite this, they allow obtaining basic expressions for the parameters of penetration: resistance forces, speed of movement during penetration, the shape of the penetration trajectory depending on the shape of the body, the position of the center of mass of the body, and environment parameters.

The question of the trajectory of the body's motion at an oblique entry into the soil medium has been little studied. At the greatest distance from the interface between the media, the influence of the boundary conditions on the motion of the body will be negligible, which is confirmed by many experiments. It is necessary to determine the relationship between the angle of approach of the body to the surface of the medium and the angle of removal of the body when moving in it.

The calculations were carried out iteratively, varying the parameters of the problem: the position of the center of mass of the body, the angle of oblique entry into the medium, and the shape of the body.

The dependences of the body penetration trajectory were described using, similarly to optics, the refractive index equal to the ratio of the angle of approach of the oblique entrance to the angle of departure during motion in the medium.

Based on the results of computational studies:

- Trajectory of penetration of the body into the medium is nonlinear.
- Use of the refractive index in the description of the body penetration trajectory gives a sufficient representation of the dependence of the trajectory on the considered parameters of the problem.
- Trajectory of penetration consists of two sections: in the first section, the angle of approach of the oblique entrance has the greatest influence, in the second - the position of the center of mass of the body.
- Data obtained make it possible to obtain an analytical dependence of the body penetration trajectory on the main parameters, used in the problems of body shape optimization, taking into account the properties of soils.

Выявление собственных форм и частот колебаний динамических моделей на основе анализа их расчетного отклика на внешнее воздействие

Стец А.А.

ЦНИИмаш, г. Королёв, Россия

Корректность математического моделирования динамики крупногабаритных космических конструкций в обеспечении контроля нагрузок и несущей способности обуславливается, в том числе, соответствием между массово-жесткостными параметрами расчетной модели и характеристиками натурального объекта.

Предполагается, что для устранения расхождений между откликом на внешнее динамическое воздействие реальной конструкции и результатами математического моделирования этого процесса может быть проведена корректировка параметров расчетной модели. Для этого в пространстве массово-жесткостных параметров конечных элементов необходимо добиться максимизации величины, характеризующей степень соответствия расчетной модели и расчетного объекта. Одной из таких величин может служить Modal Assurance Criterion (MAC) – нормированное скалярное произведение соответствующих собственных форм колебаний расчетной модели и натурального объекта. При этом данные о собственных формах и частотах колебаний крупногабаритной реальной конструкции могут быть лишь опосредованно получены через показания измерительных систем на фоне внешнего механического воздействия.

В данной работе рассматривается возможность восстановления форм колебаний конструкции в узлах конструкции, для которых имеются записи ускорений, полученные на фоне внешнего динамического воздействия и затухающих колебаний. В качестве конструкции выступает разветвленная балочная модель, по спектру низших собственных частот, вносящих наибольший вклад в динамическое нагружение, близкая к расчетным моделям долговременных орбитальных станций. В роли записей с акселерометров реальной конструкции выступают рассчитанные в подмножестве узлов модели ускорения, вызванные

механическим воздействием. Восстановление собственных форм и частот производится с использованием, как исходных рассчитанных ускорений, так и искусственно зашумленных, имитирующих работу реальной измерительной аппаратуры. Показана возможность восстановления низших собственных частот и форм колебаний динамических моделей на основе анализа их расчетного отклика на внешнее воздействие.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-90141.

The identification of dynamic model modal shapes and frequencies through the dynamic response analysis

Stets A.A.

TsNIImash, Korolev, Russia

The mathematical modeling dynamics correctness for large space structures load monitoring and carrying capability is determined but not limited to by consistency of the mass and stiffness properties of the design model and the characteristics of a full-scale object.

It is assumed that in order to eliminate the external dynamic load response discrepancies of a real structure and the results of mathematical modeling of this process the parameters of the design model can be adjusted. For this purpose, it is necessary to maximize the consistency degree characterizing value between the design model and the design object in the mass-rigidity parameters space of finite elements. One such value is the Modal Assurance Criterion (MAC) – the natural vibration mode normalized scalar product of the design model and the full-scale object. Therewith the data on the natural vibration frequency and mode of a large-sized actual structure can only be indirectly obtained through the measuring systems readings during external dynamic loads.

The paper is concerned with the vibration mode reconstruction possibility of the structural components by utilizing the acceleration records obtained during the external dynamic loads and dampening vibrations. In this case, the branched beam model is used as the structure by the spectrum of the lowest natural frequencies that make the greatest contribution to dynamic loading and is closest to the long-term orbital station's design models. Model accelerations which are calculated in a subset of nodes and caused by mechanical loads act as real structure acceleration records. The natural mode and frequencies reconstruction is recovered by using both the original calculated and noise-artificial accelerations, simulating the operation of real measuring equipment. In the present paper, the reconstruction possibility of the lowest natural vibration frequency and mode determination of dynamic models based on expected response analysis to external loads is shown.

The reported study was funded by RFBR, project number 19-31-90141.

Оценка перспективности воздушных судов комбинированным методом выявления предпочтений

¹Судаков В.А., ²Сивакова Т.В.

¹МАИ, ²РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия

На протяжении последних лет наблюдается значительное увеличение потоков авиаперевозок. В связи с этим одной из актуальных задач является модернизация парка ВС. Перед авиакомпаниями стоит выбор, использовать старое ВС до выработки ресурса или купить новое, учитывая такие критерии как безопасность полета, соответствие экологическим нормам, топливную эффективность и др. Особенностью данной задачи многокритериального выбора является не только значительное количество критериев и ограничений различного типа, но и наличие зависимостей между критериями по предпочтениям ЛПР.

Предложенный авторами комбинированный метод выявления предпочтений позволяет оценить эффективность ВС с точки зрения их ввода на современный рынок авиаперевозок, с учетом предпочтений ЛПР.

Имеются два ВС: АН-124 и ИЛ-76. Каждый ВС оценивается набором критериев верхнего уровня: технические характеристики; экономичность; импортозависимость. Для каждого критерия верхнего уровня задается шкала с градациями: технические характеристики: П1 –

хорошие (1), t12 – удовлетворительные (0.5), t13 – неудовлетворительные (0); экономичность: t21 – хорошая (1), t22 – удовлетворительная (0.5), t23 – неудовлетворительная (0); импортозависимость: t31 – низкая (0), t32 – высокая (1). Путь для каждого ВС оценки критериев приняли следующие значения:

АН-124: технические характеристики – 0.25, экономичность – 0.8, импортозависимость – 1;

ИЛ-76: технические характеристики – 0.5, экономичность – 0.35, импортозависимость – 0.

Необходимо выявить предпочтения на наборах градаций критериев – определить области предпочтений Mk и их уровни предпочтения P(Mk). Введем области предпочтения: M1={t12, t13, t22, t23, t32} – область с низкой предпочтительностью с уровнем предпочтения P(M1)=2; M2={t12, t21, t22, t32} – область со средней предпочтительностью с уровнем предпочтения P(M2)=3; M3={t12, t13, t22, t23, t31} – область с хорошей предпочтительностью с уровнем предпочтения P(M3)=4.

После этапов определения ячеек Tl, формирования функции предпочтения Y(X) и постановки значений критериев альтернатив АН-124 и ИЛ-76 в функцию предпочтения Y(X) получили, что ИЛ-76 предпочтительнее АН-124.

Предложенный метод построения функции предпочтений хорошо алгоритмизируется и позволяет учитывать зависимости по предпочтениям в многомерной системе ценностей ЛПР. Подобные многокритериальные методы поддержки принятия решений могут оказаться полезными не только для задач воздушного транспорта, но и в других областях исследований.

Assessment of aircraft prospects using the combined method of identifying preferences

¹Sudakov V.A., ²Sivakova T.V.

¹MAL, ²Plekhanov University, Moscow, Russia

Over the past years, there has been a significant increase in air traffic flows. In this regard, one of the urgent tasks is the modernization of the aircraft fleet. The airlines are faced with a choice whether to use the old aircraft before the resource is exhausted or buy a new one, taking into account such criteria as flight safety, compliance with environmental standards, fuel efficiency, etc. dependencies between the criteria for the preferences of the DM.

The combined method of identifying preferences proposed by the authors makes it possible to assess the effectiveness of aircraft from the point of view of their introduction into the modern air transportation market, taking into account the preferences of the DM.

There are two aircraft: AN-124 and IL-76. Each aircraft is evaluated by a set of top-level criteria: technical characteristics; profitability; import dependence. For each criterion of the upper level, a scale with gradations is set: technical characteristics: t11 – good (1), t12 – satisfactory (0.5), t13 – unsatisfactory (0); efficiency: t21 – good (1), t22 – satisfactory (0.5), t23 – unsatisfactory (0); import dependence: t31 – low (0), t32 – high (1). The path for each aircraft for evaluating the criteria took the following values:

АН-124: technical characteristics – 0.25, efficiency – 0.8, import dependence – 1;

ИЛ-76: technical characteristics – 0.5, efficiency – 0.35, import dependence – 0.

It is necessary to identify preferences on the sets of gradations of criteria – to determine the preference areas Mk and their preference levels P (Mk). Let's introduce the preference areas: M={t12, t13, t22, t23, t32} – an area with low preference with a preference level P(M1)=2; M2={t12, t21, t22, t32} – an area with an average preference with a preference level P(M2)=3; M3={t12, t13, t22, t23, t31} – an area with good preference with a preference level P(M3)=4.

After the stages of determining the Tl cells, forming the preference function Y(X) and substituting the values of the criteria of the alternatives AN-124 and IL-76 into the preference function Y(X), we obtained that the IL-76 is preferable to the AN-124.

The proposed method for constructing the preference function is well algorithmic and allows one to take into account preference dependencies in the decision maker's multidimensional value system. Such multi-criteria decision support methods can be useful not only for air transport problems, but also in other areas of research.

Имитационное моделирование систем электропитания автоматических космических аппаратов большой мощности

Торгаева Д.С., Сухоруков М.П., Рулевский В.М., Юдинцев А.Г.
ТУСУР, г. Томск, Россия

космических аппаратов предопределяет необходимость совершенствования характеристик бортовых систем электропитания путем поиска оригинальных технических подходов и решений. Система электропитания является одной из важнейших бортовых систем космического аппарата. Она представляет собой совокупность первичных и вторичных источников энергии, аппаратуры преобразования энергии и стабилизации выходного напряжения с необходимой автоматикой контроля и управления. В системе электропитания генерируется, преобразуется и поставляется для бортовых потребителей вся требуемая электрическая энергия.

На данном этапе проектирование космических аппаратов подразделяется на два диаметрально противоположных направления: проектирование малых и сверхмалых космических аппаратов и развития направления сложных многофункциональных платформ, требующих применения систем электропитания рассчитанных на потребителей мощностью десятки киловатт. При этом потребляемая нагрузкой мощность может варьироваться в широких пределах. Поскольку система электропитания составляет существенную часть массы космического аппарата, необходимо точно подбирать ее мощность в зависимости от состава нагрузки. Разработка отдельных энергопреобразующих модулей для различных типов нагрузки является экономически нецелесообразной. Именно поэтому актуальной задачей является разработка архитектуры энергопреобразующего комплекса, позволяющей создавать на ее основе унифицированный ряд модулей для построения систем электропитания различной мощности путем наращивания выходной мощности.

В данной работе проводится исследование различных архитектур и схем подключения силовых модулей. На данном этапе исследования в среде Matlab/Simulink реализована имитационная модель системы электропитания выходной мощностью 8 кВт, состоящая из 8 унифицированных модулей, содержащих каналы преобразования энергии солнечных и аккумуляторных батарей. В работе приведены результаты исследования 4 архитектур при работе системы электропитания в режиме потребления энергии от аккумуляторной батареи через канал зарядно/разрядного устройства.

Статья подготовлена в рамках выполнения работы FEWM-2020-0046 «Фундаментальные основы и методология создания высокоэффективного энергопреобразования для систем космического и морского назначения на базе интеллектуальных силовых модулей сверхвысокой степени интеграции».

Simulation of power supply systems for high-power automatic spacecraft

Torgaeva D.S., Suhorukov M.P., Rulevskiy V.M., Yudintsev A.G.
TUSUR, Tomsk, Russia

The increasing requirements for the technical characteristics of spacecraft predetermines the need to improve the characteristics of onboard power supply systems. The power supply system is one of the most important onboard systems of the spacecraft. It is a combination of primary and secondary energy sources, equipment for energy conversion and output voltage stabilization with the necessary automatic control and monitoring. In the power supply system, all the required electrical energy is generated, converted and supplied to on-board consumers.

Spacecraft design is divided into two opposite directions: the design of small and ultra-small spacecraft and the development of the direction of complex space platforms. Such platforms require the use of power supply systems designed for consumers with a power of 10-30 kW. The power consumption of the load can vary over wide ranges. The power supply system constitutes a significant part of the spacecraft mass. Therefore, it is necessary to accurately select its power depending on the composition of the load. It is ineffective to design special power conversion modules for various types of load. Therefore, the development of the architecture of an energy-

converting complex, which will allow the creation on its basis of a unified number of modules for building power supply systems with different power, is an urgent task.

In this paper, a study of various architectures and power module connection schemes is carried out. At this stage of the research in the Matlab / Simulink environment, a simulation model of the power supply system with an output power of 8 kW has been implemented. This system consists of 8 unified modules that contain channels for converting the energy of solar and storage batteries. The paper presents the results of a study of 4 architectures when the power supply system operates in the mode of energy consumption from the storage battery through the channel of the charger / discharge device.

The article was prepared as part of the work FEWM-2020-0046 "Fundamentals and methodology for creating a highly efficient energy conversion for space and marine systems based on intelligent power modules of an ultra-high degree of integration."

Новый алгоритм аппроксимации границ альфа-ядер

Торишный Р.О., Соболев В.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

В различных задачах стохастического программирования нередко используется квантильная или вероятностная функция в качестве критерия оптимизации. К таким постановкам можно свести многие задачи оптимизации, включающие в себя неопределенности, выраженные случайными величинами. Сложность таких задач заключается в том, что в общем случае не существует унифицированного пути их решения, а также в факте большой вычислительной сложности оптимизации функции квантили. Для некоторых задач такого рода [1] разработаны методы прямого решения и методы приближенного решения, строящиеся на построении границ значений целевой функции или построении выборочных аппроксимаций.

Большую роль в методах оценивания и анализа вероятностных критериев играет ядро вероятностной меры, или α -ядро. Ядро вероятностной меры является пересечением α -доверительных полуплоскостей распределения, т.е. минимальным по мощности множеством, содержащимся во всех возможных α -доверительных множествах. Поэтому знание границы ядра позволяет одинаково для любой возможной целевой функции построить нижнюю оценку значения квантили этой функции.

Для ядер уже известны некоторые алгоритмы аппроксимации границ, например, их полидральная аппроксимация. В работе предлагается новый алгоритм аппроксимации границы ядра, построенный на аппроксимации поверхности уровня функции вероятности. Она основана на аппроксимации самой функции вероятности при замене индикаторной функции ее непрерывным дифференцируемым приближением, а именно сигмоидальной функцией. При соблюдении условий компактности и регулярности ядра, а также других условий, описанных в [2], данная замена ведет к возможности записи и решения дифференциальных уравнений, описывающих линии уровня функции вероятности, аппроксимирующей границу ядра. В работе приведены примеры построения границ ядра для двумерных случайных величин, а также приведены основные идеи и соображения в области обобщения алгоритма на задачи более высокой размерности.

Литература:

1. Кан Ю.С., Кибзун А.И. Задачи стохастического программирования с вероятностными критериями / М.: Физматлит. 2009. 372 с.

2. Соболев В.Р., Торишный Р.О. Применение гладкой аппроксимации функций вероятности и квантили при решении задач стохастического программирования. // Труды СПИИРАН. 2020. Т. 19. № 1. С. 181-217.

A new approximation algorithm for the probability measure kernel

Torishniy R.O., Sobol V.R.

MAI, Moscow, Russia

In various stochastic programming problems, a quantile or probability function is used as an optimization criterion. Many optimization problems involving uncertainties expressed by random

variables can be reduced to similar problems. The complexity of such problems lies in the fact that generally there is no unified way to solve them, as well as in the fact that the optimization of the quantile function is very computationally complex. For some problems of this kind [1], direct solution methods and approximate solution methods are developed. The latter are based on the boundary construction for the objective function values or the construction of sample approximations.

The kernel of the probability measure plays an important role in the methods of evaluating and analyzing probability criteria. The kernel of the probability measure is the intersection of the confidential half-planes of the distribution, i.e. the minimal set contained in all possible confidential sets. Therefore, knowing the kernel boundaries allows us to construct a lower bound for the quantile value of this function in the same way for any possible objective function.

Some algorithms for kernel approximation are already known, such as polyhedral approximation. In this paper, we propose a new approximation algorithm for the kernel boundaries, based on the approximation of the probability function level surface. The latter is based on the approximation of the probability function itself, the idea of which is to replace the indicator function by its continuous differentiable approximation, namely, the sigmoid function. Under the conditions of compactness and regularity of the kernel, as well as other conditions described in [2], this replacement makes possible the writing and solving differential equations describing the probability function level curves, which are an approximation of the kernel boundaries. The paper provides examples of constructing kernel boundaries for two-dimensional random variables, as well as the main ideas and considerations in the field of generalization of the algorithm to higher-dimensional problems.

References:

1. Kan Yu. S., Kibzun A. I. Problems of stochastic programming with probabilistic criteria / M.: Fizmatlit. 2009. 372 p.

2. Sobol V.R., Torishny R.O. Application of smooth approximation of probability function and quantile function in solving stochastic programming problems. // SPIIRAS Proceedings. 2020. Vol. 19. No. 1. pp. 181-217.

О разработке масштабируемой программной платформы для управления новой аддитивной технологией

¹Третьякова О.Н., ²Лебедкин И.Ф., ¹Молотков А.А., ¹Чельшев А.А.

¹МАИ, ²НПП «Лазеры и аппаратура», г. Москва, Россия

Работа посвящена актуальной задаче – разработке одной из новых аддитивных лазерных технологий – технологии селективного лазерного сплавления (SLM), которая позволяет получать детали высокой геометрической сложности и точности из широкого спектра материалов, что находит применение в наукоемких отраслях промышленности. Практическая реализация технологии селективного лазерного сплавления требует создания промышленного технологического оборудования и нового эффективного программного обеспечения для систем управления этим оборудованием и моделирования физических процессов сложного теплообмена и расчета температурных напряжений для подбора технологических параметров.

Представлена возможность практической реализации нового технологического SLM процесса. Создана новая серийная промышленная установка МЛ6 и разработан программный комплекс для подготовки и выполнения аддитивного производства, являющаяся неотъемлемой частью системы управления данной установкой. Разработаны новые программные блоки, CNC – система установки и информационная система подбора технологических параметров, которые предназначены для управления новым промышленным лазерным технологическим оборудованием. В статьях [1-3] описаны проведенные нами численное моделирование и экспериментальное исследование процесса SLM. Приведены примеры применения разработанного программного обеспечения и технологического оборудования для изготовления деталей. Создаваемая нами масштабируемая программная платформы для реализации новой аддитивной SLM

технологии имеет блочную структуру, что позволяет проводить быструю переналадку технологического оборудования в условиях мелкосерийного производства.

Литература:

1. Лебедкин И.Ф., Молотков А.А., Третьякова О.Н. Математическое моделирование сложного теплообмена при разработке лазерных SLM технологий. // Труды МАИ: Электронный журнал, ISSN:1727-6924, №101, 2018.
2. Molotkov A.A., Tretiyakova O.N. On possible approaches to visualizing the process of selective laser melting/ Scientific Visualization, 2019, volume 11, number 4, pages 1 - 12, DOI: 10.26583/sv.11.4.01 <http://sv-journal.org/2019-4/?lang=en>
3. Лебедкин И.Ф., Молотков А.А., Третьякова О.Н. Разработка промышленной технологии селективного лазерного сплавления // Прикладная физика. 2020. № 3. С. 83-89.

About developing a scalable software platform for control new additive technology

¹Tretiyakova O.N., ²Lebedkin I.F., ¹Molotkov A.A., ¹Chelyshev A.A.

¹MAI, ²SPC "Lasers and Equipment", Moscow, Russia

The work is devoted to an urgent task – the development of one of the new additive laser technologies – selective laser melting (SLM) technology, which allows to obtain parts of high geometric complexity and accuracy from a wide range of materials, which is used in high-tech industries. The practical implementation of the selective laser melting technology requires the creation of industrial technological equipment and new effective software for control systems of this equipment and simulation of physical processes of complex heat transfer and calculation of temperature stresses for the selection of technological parameters.

The possibility of practical implementation of a new technological SLM process is presented. A new serial industrial installation ML6 has been created and a software package has been developed for the preparation and implementation of additive manufacturing, which is an integral part of the control system for this installation. New program blocks, CNC – installation system and information system for selection of technological parameters, which are designed to control new industrial laser technological equipment, have been developed. The articles [1-3] describe our numerical modeling and experimental study of the process SLM. Examples of the application of the developed software and technological equipment for the manufacture of parts are given. The scalable software platform that we are creating for the implementation of the new additive SLM technology has a block structure [4-6], which allows for a quick changeover of technological equipment in a small-scale production.

References:

1. Lebedkin I.F., Molotkov A.A., Tretiyakova O.N. Mathematical modeling of complex heat transfer in the development of laser SLM technologies. // Proceedings of the Moscow Aviation Institute: Electronic Journal, ISSN: 1727-6924, No. 101, 2018.
2. Molotkov A.A., Tretiyakova O.N. On possible approaches to visualizing the process of selective laser melting/ Scientific Visualization, 2019, volume 11, number 4, pages 1 - 12, DOI: 10.26583/sv.11.4.01 <http://sv-journal.org/2019-4/?lang=en>
3. Lebedkin I.F., Molotkov A.A., Tretiyakova O.N. Development of industrial technology of selective laser fusion // Applied Physics. 2020. No. 3. S. 83-89.

Минимизация переключений кусочно-постоянных управлений гибридными системами

Урюпин И.В., Бортакровский А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Важным направлением современного развития теории оптимального управления являются исследования гибридных и переключаемых систем. Актуальность и нарастающая интенсивность этих исследований отвечает потребностям практики. Решение задач оптимального управления в классе гибридных систем оказывается предпочтительнее с практической точки зрения, чем традиционные классические решения. Учет и минимизация количества переключений характерны для технических задач, связанных, например, с

включением и выключением реактивных двигателей в процессе полета, в частности, при управлении космическими аппаратами.

В работе рассматривается плоское движение БЛА при наличии препятствий. Решается задача нахождения оптимальной по быстродействию и поворотам (переключениям) траектории, которая проходит в допустимой области, минуя препятствия. Для обхода препятствий предлагается формировать траекторию, проходящую через промежуточные позиции. Эти позиции находятся при решении вспомогательной оптимизационной задачи первоначального планирования, в которых траектории движения БЛА представляются ломаными, проходящими в допустимой области. Затем модель движения БЛА усложняется. Первоначальные ломаные заменяются траекториями Маркова – Дубинса [1], оптимизация которых выполняется при сохранении ранее найденных промежуточных позиций.

Для решения поставленной задачи был разработан двухэтапный алгоритм синтеза [1], основанный на достаточных условиях оптимальности, позволяющий строить оптимальные траектории движения БЛА при наличии препятствий. На первом этапе алгоритма на сетке допустимых позиций, синтезируется оптимальная ломаная траектория и определяются промежуточные условия. На втором этапе производится конечномерная минимизация траекторий Маркова – Дубинса с промежуточными условиями. Здесь применяется метод спуска по сгущающимся сеткам с выбором локально оптимального направления. Эффективность предлагаемого алгоритма демонстрируется на академических примерах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-08-00128-а.

1. Бортаковский А.С., Урюпин И.В. Оптимизация маршрутов непрерывно-дискретного движения управляемых объектов при наличии препятствий// Труды МАИ. 2020. №113. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=118185>.

Minimization of switching of piecewise constant controls for hybrid systems

Uryupin I.V., Bortakovsky A.S.

MAI, Moscow, Russia

An important area of modern development of optimal control theory is the study of hybrid and switchable systems. The relevance and increasing intensity of these studies meets the needs of practice. The solution of optimal control problems in the class of hybrid systems is preferable from a practical point of view than traditional classical solutions. Taking into account and minimizing the number of switches is typical for technical tasks related, for example, to switching on and off jet engines during flight, in particular, when controlling spacecraft.

The flat movement of the UAV in the presence of obstacles is considered. The problem of finding the optimal trajectory with bypassing obstacles considering speed and switchings is solved. To avoid obstacles, it is proposed to form a trajectory that passes through intermediate positions. These positions are found when solving the auxiliary optimization problem of initial planning, in which the UAV trajectories are represented as polylines passing in the allowed area. Next the UAV movement model becomes more complex. The original straight lines are replaced by Markov – Dubins trajectories [1], which are optimized while preserving previously found intermediate positions.

To solve this problem, a two-stage synthesis algorithm [1] based on sufficient optimality conditions is developed, which allows us to build optimal UAV trajectories in the presence of obstacles. At the first stage of the algorithm, the optimal polyline path is synthesized on the grid of acceptable positions and intermediate conditions are determined. At the second stage, finite – dimensional minimization of Markov-Dubins trajectories with intermediate conditions is performed. Here the method of descent along thickening grids with the choice of the locally optimal direction is used. The effectiveness of the proposed algorithm is demonstrated by academic examples.

This work was supported by the RFBR, project 18-08-00128-а.

1. Bortakovsky A. S., Uryupin I. V. Optimization of routes of continuous-discrete movement of controlled objects in the presence of obstacles// Trudy MAI. 2020. No. 113. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=118185>.

Математическое моделирование космического мусора и метеороидов для решения прикладных задач космонавтики

Усовик И.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Космическая деятельность осуществляется в условиях постоянного воздействия космического мусора (КМ) и метеороидов (ММ). Фактор высокоскоростного соударения с частицами КМ и ММ учитывается на всех этапах проектирования космических средств, особенно тщательно для пилотируемых космически кораблей, когда есть угроза безопасности и жизни экипажа. В последние годы количество запускаемых космических аппаратов существенно выросло и в ближайшем будущем продолжит расти, существенно увеличивая техногенное засорение околоземного космического пространства (ОКП). Неучет данного фактора при проектировании космических систем в будущем будет существенно увеличивать вероятность снижения потребительских качеств или полного выхода из строя космических средств, особенно многоразовых и с большими сроками эксплуатации.

Для оценки условий воздействия КМ и ММ в мире разработано несколько инженерных моделей, позволяющих оценивать текущее и прогнозируемое состояние техногенного засорения ОКП, рассчитывать (оценивать) потоки КМ и ММ разных размеров, а также их характеристики относительно космических средств на разных орбитах с разными сроками эксплуатации. Данные модели перечислены в международном стандарте ISO 14200 Space environment (natural and artificial) — Guide to process-based implementation of meteoroid and debris environmental models (orbital altitudes below GEO + 2 000 km).

В докладе будут рассмотрены история разработки и особенности отечественной модели КМ и ММ, основные допущения, математические и физические составляющие модели, результаты расчетов и применения для исследований и решения прикладных задач, сравнение с зарубежными аналогами, перспективы развития модели и её применения для решения новых задач.

Mathematical modelling of space debris and meteoroids for solving applied problems of cosmonautics

Usovik I.V.

MAI, Moscow, Russia

Space activities are carried out under the constant impact of space debris (SD) and meteoroids (MM). The factor of high-speed collisions with SD and MM particles is taken into account at all stages of the design of space vehicles, especially carefully for manned spacecraft, when there is a threat to the safety and life of the crew. In recent years, the number of launched spacecraft has grown significantly and will continue to grow in the near future, significantly increasing space debris in near-Earth space (NES). Failure to take this factor into account when designing space systems in the future will significantly increase the probability of reducing the consumer qualities or complete failure of space assets, especially reusable ones and with long time missions.

To assess the impact conditions of SD and MM in the world, several engineering models have been developed that allow us to assess the current and predicted state of SD in NES, calculate (estimate) SD and MM fluxes of different sizes, as well as their characteristics relative to space assets in different orbits with different mission time. These models are listed in the international standard ISO 14200 Space environment (natural and artificial) — Guide to process-based implementation of meteoroid and debris environmental models (orbital altitudes below GEO + 2 000 km).

The report examines the history of development and features of the domestic model of SD and MM, the main assumptions, mathematical and physical components of the model, the results of calculations and application for research and solving applied problems, comparison with foreign analogues, prospects for the development of the model and its application to solve new problems.

Нестационарные колебания консольно-закрепленной балки Бернулли-Эйлера с учетом диффузии

Файкин Г.М., Земсков А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Исследование взаимодействия механических и диффузионных полей является важнейшей задачей в различных областях науки и техники, из-за того, что более точное описание воздействия нагрузок различной физической природы на элементы и конструкции требует более глубокого понимания сути протекающих при этом процессов. Это, в первую очередь, важно при расчете корпусов авиадвигателей, фюзеляжей самолётов и ракет, для которых динамические изменения, связанные с внутренним переносом вещества под действием механической нагрузки, могут привести к катастрофическим последствиям. Понимание законов, описывающих процесс диффузии, позволяет избежать нежелательных изменений в авиаконструкциях, происходящих под влиянием нестационарных нагрузок различного характера. Экспериментально доказано и теоретически обосновано, что внедрение диффундирующего вещества в твёрдое тело порождает в нём внутренние напряжения, а неоднородное поле напряжений, вызванное внешними причинами, способно влиять на диффузионную кинетику переноса вещества. В работе рассматривается консольно-закрепленная балка Эйлера-Бернулли, на которую действует сосредоточенная нестационарная нагрузка, приложенная к свободному концу и порождающая напряженно-деформированное состояние с учетом диффузионных процессов. Для математической постановки задачи используется модель упругой диффузии для многокомпонентных сплошных сред. С помощью вариационного принципа Даламбера получены уравнения упругодиффузионных поперечных колебаний балки Эйлера-Бернулли. Решение задачи ищется с помощью метода эквивалентных граничных условий, который заключается в том, что вместо исходной задачи рассматривается вспомогательная задача того же вида, но с граничными условиями, допускающими представление решений в виде рядов Фурье. Для этого достаточно поменять способ закрепления концов балки. Далее строятся соотношения, связывающие правые части граничных условий обеих задач. Эти соотношения записываются в виде интегральных уравнений Вольтера 1-го рода. Затем, полученная система уравнений решается численно с помощью квадратурных формул. Таким образом, разработанный алгоритм позволяет выразить решение задачи с произвольными граничными условиями через известное решение какой-либо задачи того же вида и с той же геометрией области.

На основании полученных решений были найдены перемещения и приращения концентраций компонент, входящих в состав материала балки, а также исследована взаимосвязь между этими физическими полями.

Nonstationary vibrations of a cantilevered Bernoulli-Euler beam taking into account diffusion

Faykin G.M., Zevskov A.V.

MAI, Moscow, Russia

The study of the interaction of mechanical and diffusion fields is an important element in various fields of science and technology, due to the fact that a more accurate description of the effect of loads of different physical nature on elements and structures requires a deeper understanding of the essence of the processes occurring in this case. This is, first of all, important when calculating aircraft engine casings, aircraft and missile fuselages. Understanding the laws that describe the diffusion process allows avoiding undesirable changes in aircraft structures that occur under the influence of non-stationary loads of various nature. It has been experimentally proven and theoretically substantiated that the introduction of a diffusing substance into a solid generates internal stresses in it, and an inhomogeneous stress field caused by external causes can affect the diffusion kinetics of matter transfer. The paper considers a cantilever-fixed Euler-Bernoulli beam, which is acted upon by a concentrated non-stationary load applied to the free end and generating a stress-strain state taking into account diffusion processes. For the mathematical formulation of the

problem, the elastic diffusion model for multicomponent continuous media is used. Using the d'Alembert variational principle, the equations of elastic-diffusion transverse vibrations of the Euler-Bernoulli beam are obtained. The solution to the problem is sought using the method of equivalent boundary conditions, which consists in the fact that instead of the original problem, an auxiliary problem of the same type is considered, but with boundary conditions that allow the representation of solutions in the form of Fourier series. To do this, it is enough to change the method of securing the ends of the beam. Further, relations are constructed connecting the right-hand sides of the boundary conditions of both problems. These relations are written in the form of Voltaire integral equations of the 1st kind. Then, the resulting system of equations is solved numerically using quadrature formulas. Thus, the developed algorithm allows one to express the solution of a problem with arbitrary boundary conditions in terms of a known solution of a problem of the same type and with the same geometry of the domain. Based on the results obtained, graphs of displacements and changes in concentration were built.

Использование алгоритма комплексной обработки и контроля информации инерциальных и радиотехнических систем самолетов военно-транспортной авиации

¹Фальков Е.А., ²Харин Е.Г., ²Бардина Л.М., ²Жабин А.Ю.

¹АО «Котлин-Новатор», г. Санкт-Петербург, Россия

²АО «ЛИИ им. М.М.Громова», г. Жуковский, Россия

Рассматривается способ повышения эффективности решения задач специального и общего самолетовождения самолетов военно-транспортной авиации путем комплексирования информации от бортовых навигационных систем на примере бортовой реализации алгоритма комплексной обработки (КОИ) и контроля информации инерциальных (ИНС) и радиотехнических систем в прицельно-навигационных пилотажных комплексах самолетов Ил-76МД-90А, Ил-78М-90А, Ил-76МД-М и Ил-78(М)2.

В алгоритме обрабатывается информации от следующих систем:

1. платформенная ИНС;
2. приемник спутниковой навигационной системы;
3. радиотехнические системы навигации:
 - Аппаратура радиотехнической системы ближней навигации.
 - Аппаратура радиотехнической системы дальней навигации.
 - Аппаратура навигации и посадки для работы с маяками типа VOR.
 - Самолетный дальномер для работы с маяками типа DME.

На борту самолетов Ил-76МД 90А и Ил 78М 90А установлено три ИНС, Ил 76МД М и Ил 78(М)2 – две. На базе каждой из ИНС в зависимости от самолета реализовано два или три канала КОИ на основе фильтра Калмана. В каждом канале формируются выходные данные: оцененные значения координат, скорости, курса и навигационной точности. Выходными данными алгоритма КОИ являются усредненные параметры от рабочих каналов.

Алгоритм работает в два этапа: этап прогнозирования на основе автономных данных ИНС с частотой 10 Гц и этап коррекции с частотой 1 Гц. Выбор алгоритма коррекции обеспечивается интегральной системой контроля, которая включает в себя анализ наличия измеренных данных от всех используемых систем, определение достоверности измерений и выбор системы корректора на основе полученных данных и заданной приоритетности.

Для анализа и оценки разработанного алгоритма был применен метод непрерывной отработки, заключающийся в математическом и полунатурном моделировании на основе полетных данных и отработки в процессе летных испытаний, сопровождающихся математическим и полунатурным моделированием. Летные испытания проводились с применением комплекса бортовых траекторных измерений.

Таким образом, разработанный алгоритм имеет переменную структуру в зависимости от условий полета и обеспечивает целостность, непрерывность и точность определения параметров навигации и ориентации для решения задач специального и общего самолетовождения.

The use of an algorithm for integrated processing and control of information from inertial and radio-technical systems of military transport aircraft

¹Falkov E.A., ²Kharin E.G., ²Bardina L.M., ²Zhabin A.I.

¹JSC "Kotlin-Novator", Saint Petersburg, Russia

² JSC "Gromov Flight Research Institute", Zhukovsky, Russia

A method of increasing the efficiency of solving tasks of special and general navigation of aircraft of military transport aviation by integrating information from on-board navigation systems is considered on the example of on-board implementation of the algorithm for complex processing and control of information (CPI) from inertial (INS) and radio-technical aircraft system on Il-76MD-M, Il-78(M)2, Il-76MD-90A and Il-78M-90A.

The algorithm processes information from the following systems:

1. platform INS;
2. receiver of satellite navigation system;
3. radio-technical navigation systems:
 - Equipment for short-range radio navigation systems.
 - Equipment for long-range radio navigation system.
 - Navigation and landing equipment for work with VOR beacons.
 - Aircraft rangefinder for work with DME beacons.

Three INS are installed on board the Il-76MD-90A and Il-78M-90A aircraft, two INS -the Il 76MD M and Il 78 (M)2. Depending on the aircraft, on the basis of each INS, two or three CPI channels are implemented based on the Kalman filter. Each channel generates output data: estimated values of coordinates, speed, course and navigation accuracy. The output data of the CPI algorithm are the averaged parameters from the working channels.

The algorithm works in two stages: a prediction stage based on autonomous INS data with a frequency of 10 Hz and a correction stage with a frequency of 1 Hz. The choice of the correction algorithm is provided by an integral control system, which includes an analysis of the availability of measured data from all used systems, determination of the reliability of measurements and selection of the corrector system based on the received data according to the given priority.

To analyze and evaluate the developed algorithm was applied by the method of continuous working out, which includes mathematical and semi-natural modeling based on flight data and testing in the process of flight tests, accompanied by mathematical and semi-natural modeling. Flight tests were carried out using a complex of onboard trajectory measurements.

Thus, the developed algorithm has a variable structure depending on the flight conditions and provides the integrity, continuity and accuracy of determining navigation and orientation parameters for solving problems of special and general air navigation.

Об устойчивости и периодических движениях неавтономных гамильтоновых систем в случаях кратных резонансов четвертого порядка

Холостова О.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваются движения неавтономной, периодической по времени гамильтоновой системы с двумя степенями свободы в окрестности тривиального равновесия, устойчивого в линейном приближении. Предполагается, что в системе реализуется кратный (двойной или тройной) резонанс четвертого порядка или значения параметров близки к резонансным.

Доклад состоит из двух частей, теоретической и прикладной. В теоретической части рассмотрены пять качественно различных модельных гамильтонианов, характерных для изучаемых резонансных случаев. Найдены достаточные условия формальной устойчивости тривиального равновесия, записанные в виде ограничений на коэффициенты форм четвертой степени в нормализованных гамильтонианах возмущенного движения. Показано, что полученные области формальной устойчивости содержатся внутри областей устойчивости каждого имеющегося сильного резонанса, рассматриваемого по отдельности, а резонансные коэффициенты, отвечающие слабым резонансам, должны принимать значения из

ограниченного диапазона. Рассмотрены также некоторые вопросы неустойчивости тривиального равновесия системы.

Предложена схема исследования задачи о существовании, числе и устойчивости периодических движений изучаемых систем в случаях точного резонанса и при наличии малых резонансных расстройок. Выписаны системы алгебраических уравнений для определения равновесий приближенных систем, порождающих искомые периодические движения. Подробное исследование проведено для случая одного основного и одного комбинационного (сильного или слабого) резонанса четвертого порядка.

Во второй части доклада полученные теоретические результаты применены в ряде задач динамики спутника относительно центра масс. Найденные условия формальной устойчивости проверены в точках кратных резонансов четвертого порядка в задаче об устойчивости цилиндрической прецессии динамически симметричного спутника-пластинки в центральном ньютоновском гравитационном поле на эллиптической орбите произвольного эксцентриситета. В окрестности ряда точек кратных резонансов показано существование и исследована устойчивость периодических движений спутника. В задаче о движении динамически симметричного спутника в окрестности его цилиндрической прецессии на слабозэллиптической орбите резонансные периодические движения построены аналитически.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 19-11-00116) в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете).

Stability and periodic motions of non-autonomous Hamiltonian systems in cases of multiple fourth-order resonances

Kholostova O.V.

MAI, Moscow, Russia

We consider the motion of a non-autonomous, time-periodic two-degree-of-freedom Hamiltonian system in the vicinity of a linearly stable trivial equilibrium. A multiple (double or triple) fourth-order resonance is assumed to be realized in the system, or the values of the parameters are close to resonance ones.

The report consists of two parts, theoretical and applied. In the theoretical part, five qualitatively different model Hamiltonians are considered. Sufficient conditions are found for the formal stability of the trivial equilibrium, written in the form of relations between the coefficients of the fourth-degree forms in the normalized Hamiltonians of perturbed motion. The obtained domains of formal stability are contained within the domains of stability of each existing strong resonance, considered separately, and the resonance coefficients corresponding to weak resonances must take values from the limited range. Some instability problems of the trivial equilibrium of the system are also considered.

A scheme for studying the problem of the existence, number and stability of periodic motions of the systems in cases of exact resonance and in the presence of small resonance detunings is proposed. Systems of algebraic equations for determining the equilibria (of the approximate systems) generating the required periodic motions are written out. A detailed study is carried out for the case of one fundamental and one combinational (strong or weak) fourth-order resonance.

In the second part of the report, the obtained theoretical results are applied to a number of the problems of satellite dynamics relative to the center of mass. The found conditions for formal stability are verified at the points of multiple fourth-order resonances in the problem of the stability of the cylindrical precession of a dynamically symmetric satellite (plate) in a central Newtonian gravitational field on an elliptical orbit of arbitrary eccentricity. In the vicinity of a number of points of multiple resonances, the existence of periodic motions of the satellite is shown and their stability is investigated. In the problem of the motion of a dynamically symmetric satellite in the vicinity of its cylindrical precession in a weakly elliptical orbit, the resonant periodic motions are obtained analytically.

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project 19-11-00116) at Moscow Aviation Institute (National Research University).

Влияние расслоений на поведение слоистых элементов конструкций из углепластика под действием динамических нагрузок

¹Хомченко А.В., ¹Мартыросов М.И., ²Медведский А.Л.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Стремление к снижению массы изделия при сохранении требуемого уровня прочности и жесткости приводит к необходимости применения современных конструкционных материалов, например, композиционных материалов на основе полимерной матрицы и углеродных волокон. К сожалению, в процессе производства и эксплуатации в таких материалах могут возникать внутренние дефекты, снижающие прочностные показатели изделия. К таким дефектам относятся, например, расслоения и непроклеи.

В настоящей работе приведены результаты численных исследований поведения различных элементов конструкций из углепластика при наличии множественных дефектов типа расслоений, находящихся под действием динамических нагрузок различного характера.

В работе рассматривались:

1) Прямоугольная пластина. Схема укладки пластины: $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/-45^\circ/+45^\circ]$. Пластина находится в поле давления, изменяющегося по закону $P(t) = p_0N(t)$, где $p_0 = 1.5$ МПа, $N(t)$ – функция Хэвисайда.

2) Гладкая полая панель. Схема укладки: $[+45^\circ/-45^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]$ s. Действующая нагрузка: $p(\varphi, t) = \cos 2\varphi N(t)N(\pi/2-|\varphi|)$, где $p_0 = 1$ МПа (изменение угловой координаты "φ" происходит вдоль короткой кромки панели).

3) Подкрепленная полая четырехстрингерная панель. Схема укладки: $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]$ s. В качестве нагрузки рассматривается взрывное воздействие с заданной энергией взрыва ($E = 209.2$ кДж).

4) Цилиндрическая оболочка. Схема укладки оболочки: $[+45^\circ/-45^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]$ s. Внешнее воздействие – взрывная волна с энергией взрыва $E = 418.4$ кДж.

Элементы конструкций выполнены из углепластика на основе препрегов HexPly M21/34%/UD194/IMA (углелента) и HexPly M21/40%/285T2/AS4C (углеткань), предназначенных для производства изделий по автоклавной технологии.

Задачи решались численно с помощью метода конечных элементов в программном комплексе LS-DYNA (явная схема интегрирования). Определялись поля перемещений, напряжений и деформаций в слоях элементов конструкций в различные моменты времени. На основе полей напряжений и деформаций определялись коэффициенты запаса прочности с помощью различных критериев разрушения для композитов (Hashin, Chang-Chang, Puck, LaRC), позволяющих оценивать разрушения матрицы и волокна отдельно друг от друга. Оценивалось влияние расслоений на прочность рассматриваемых элементов авиационных конструкций.

Influence of bundles on the behavior of layered elements of carbon fiber structures under the action of dynamic loads

¹Khomchenko A.V., ¹Martirosov M.I., ²Medvedsky A.L.

¹MAI, Moscow, Russia

²TsAGI, Zhukovsky, Russia

The desire to reduce the weight of the product while maintaining the required level of strength and rigidity leads to the need to use modern structural materials, such as composite materials based on a polymer matrix and carbon fibers. Unfortunately, during the production and operation of such materials, internal defects may occur that reduce the strength of the product. Such defects include, for example, bundles and non-glues.

This paper presents the results of numerical studies of the behavior of various elements of carbon fiber structures in the presence of multiple defects such as bundles under the influence of dynamic loads of various types.

The paper considered:

1) Rectangular plate. Plate laying scheme: $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/-45^\circ/+45^\circ]$. The plate is located in a pressure field that changes according to the law: $P(t) = p_0H(t)$, where $p_0 = 1.5$ MPa, $H(t)$ is the Heaviside step function.

2) Smooth sloping panel. Laying scheme: $[+45^\circ/-45^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]$ s. Current load: $p(\varphi, t) = \cos 2\varphi H(t)H(\pi/2-|\varphi|)$, где $p_0 = 1$ MPa (the change in the angular coordinate φ occurs along the short edge of the panel).

3) Reinforced sloping four-stringer panel. Laying scheme: $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]$ s. An explosive effect with a given explosion energy ($E = 209.2$ kJ) is considered as a load.

4) Cylindrical shell. Shell laying scheme: $[+45^\circ/-45^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]$ s. External impact – an explosive wave with a given explosion energy ($E = 418.4$ kJ).

Structural elements are made of carbon fiber based on prepregs HexPly M21/34%/ UD194/IMA (carbon fiber) and HexPly M21/40%/285T2/AS4C (carbon fiber), intended for the production of products using autoclave technology.

The problems were solved numerically using the finite element method in the LS-DYNA software package (explicit integration scheme). The fields of displacements, stresses and deformations in the layers of structural elements at different times were determined. Based on the stress and strain fields, safety factors were determined using various fracture criteria for composites (Hashin, Chang–Chang, Puck, LaRC), which allow us to evaluate the destruction of the matrix and fiber separately from each other. The influence of stratification on the strength of the considered elements of aircraft structures was evaluated.

Применение панельного метода расчета аэродинамики с использованием искусственных нейронных сетей

Хрусталеv А.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

В основе панельных методов лежит относительная простота расчёта и вытекающее из этого предельно малое время решения. Задачей было создать метод и программное решение, сохранив схожие с панельными методами минимальные затраты вычислительных мощностей и достигнув сопоставимой точности в сравнении с методами CFD. Было утверждено строить методикy и логику решателя на базе панельных методов, реализуемых в ходе решения обычной системы линейных алгебраических уравнений, при малом количестве вычислительных ячеек. Достижение заданной точности должно быть обеспечено за счет внедрения в выбранный панельный метод искусственной нейронной сети.

Приемлемая точность на малых углах атаки ($\alpha < 5$ градусов) выбранным панельным методом обеспечивается изначально. По достижении же режимов отрыва потока от обтекаемой поверхности было необходимо создать модуль, обеспечивающий нелинейность зависимости аэродинамических коэффициентов от углов набегающего потока.

Помимо выше перечисленного требовалось разработать программный комплекс, обеспечивающий реализацию предложенного метода, автоматизированное построение сетки и графический интерфейс пользователя. Провести верификацию и валидацию предложенного решения. В данной статье описан точный метод определения аэродинамических характеристик для любой формы тела с минимальными затратами вычислительных мощностей.

Utilizing Panel Method for Solving Aerodynamics with using Artificial Neural Networks

Khrustalev A.L.

MAI, Moscow, Russia

The panel methods are based on the relative simplicity of the calculation and the resulting extremely short solution time. The task was to create a method and software solution, while maintaining the minimum computational power consumption similar to panel methods and achieving comparable accuracy in comparison with CFD methods. It was approved to build the technique and logic of the solver on the basis of panel methods implemented in the course of solving the usual system of linear algebraic equations, with a small number of computational cells.

Achieving the specified accuracy should be ensured by introducing an artificial neural network into the selected panel method.

Acceptable accuracy at low angles of attack ($\alpha < 5$ degrees) by the selected panel method is provided initially. Upon reaching the regimes of separation of the flow from the streamlined surface, it was necessary to create a module that would ensure the nonlinearity of the dependence of the aerodynamic coefficients on the angles of the incident flow.

In addition to the above, it was required to develop a software package that provides the implementation of the proposed method, automated mesh generation and a graphical user interface. Verify and validate the proposed solution. This article describes an accurate method for determining aerodynamic performance for any body shape with minimal computing power.

Численное решение задач с экспоненциальной скоростью роста интегральных кривых

Цапко Е.Д., Кузнецов Е.Б., Леонов С.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваются задачи, описываемые системой обыкновенных дифференциальных уравнений с начальными или краевыми условиями, интегральные кривые которых имеют экспоненциальную скорость роста. Их относят к теории жестких задач с контрастными структурами [1]. Контрастные структуры – это области быстрого изменения решения, которые, в отличие от пограничных слоев, могут возникать и внутри области решения задачи. Такие задачи возникают в различных областях науки и техники, наиболее известными из которых являются задачи аэрогидродинамики, теории горения и каталитических реакций. На практике найти аналитическое решение зачастую не представляется возможным, а использование численных и асимптотических методов сопряжено с рядом вычислительных трудностей. Метод наилучшей параметризации зарекомендовал [2] себя при решении подобных задач тем, что он позволяет снизить степень жесткости задачи, преобразовав её в наилучшим образом обусловленную систему. Однако, его применение к решению задач с контрастными структурами эффективно лишь в том случае, когда скорость роста интегральных кривых не превышает степенную. Поэтому для решения задач с экспоненциальной скоростью роста интегральных кривых была разработана модификация метода наилучшей параметризации. Новый подход был апробирован на решении экспоненциального теста, рассмотренного в работе А. А. Белова и Н. Н. Калиткина [3], который представляет собой начальную задачу с периодическими контрастными структурами. Экспоненциальный тест имеет аналитическое решение, что позволяет убедиться в вычислительной эффективности нового подхода для рассматриваемого типа задач.

Исследование проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 20-31-90054).

[1] Васильева А. Б., Бутузов В. Ф., Нефедов Н. Н. Контрастные структуры в сингулярно возмущенных задачах // *Фундаментальная и прикладная математика*. – 1998. – Т. 4. – № 3. – С. 799-851.

[2] Кузнецов Е. Б., Леонов С. С., Цапко Е. Д. Параметризация задачи Коши для нелинейных дифференциальных уравнений с контрастными структурами // *Вестник Мордовского университета*. – 2018. – Т. 28. – № 4. – С. 486-510.

[3] Белов А. А., Калиткин Н. Н. Особенности расчета контрастных структур в задачах Коши // *Матем. моделирование*. – 2016. – Т. 28. – № 10. – С. 97-109.

Numerical solution of problems with an exponential growth rate of integral curves

Tsapko E.D., Kuznetsov E.B., Leonov S.S.
MAI, Moscow, Russia

We consider problems described by a system of ordinary differential equations with initial or boundary conditions whose integral curves have an exponential growth rate. They belong to the theory of rigid problems with contrast structures [1]. Contrast structures are areas of rapid change in the solution, which, unlike boundary layers, can also occur within the problem solution area.

Such problems arise in various fields of science and technology, the most famous of which are problems of aerodynamics and hydrodynamics, the theory of combustion and the theory of catalytic reactions. In practice, it is barely possible to find an analytical solution, and the application of numerical and asymptotic methods is associated with computational difficulties. The best parameterization method has proven itself [2] in solving such problems in that it reduces the degree of rigidity of the problem, transforming it into the best-conditioned system. However, its application to solving problems with contrast structures is effective only if the growth rate of integral curves does not exceed the power-law. Therefore, a modification of the best parameterization method was developed to solve problems with an exponential growth rate of integral curves. The new approach was tested on the solution of the exponential problem considered in the work of A. A. Belov and N. N. Kalitkin [3], which is an initial problem with periodic contrast structures. The exponential problem has an analytical solution, which makes it possible to verify the computational efficiency of the new approach for the type of problems under consideration.

The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project code 20-31-90054).

[1] Vasil'eva A B, Butuzov V F and Nefedov N N 1998 Contrast structures in singularly perturbed problems *Fundamental and Applied Mathematics* 4 799–851

[2] Kuznetsov E B, Leonov S S and Tsapko E D 2018 The parametrization of the Cauchy problem for nonlinear differential equations with contrast structures *Mordovia University Bulletin* 28 486–510

[3] Belov A A and Kalitkin N N 2017 Features of calculating contrast structures in the Cauchy problem *Math. Models Comput. Simul.* 9 281–291

О нелинейных колебаниях и устойчивости связанных маятников в случае кратного резонанса

Маркеев А.П., Чеховская Т.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Точки подвеса двух одинаковых твердых тел (физических маятников), движущихся в однородном поле тяжести, расположены на горизонтальной балке, совершающей гармонические колебания малой амплитуды вдоль неподвижной горизонтальной прямой, проходящей через точки подвеса маятников. Маятники связаны один с другим пружиной малой жёсткости. Предполагается, что парциальная частота малых колебаний каждого из маятников в точности равна частоте горизонтальных колебаний балки. В докладе решается нелинейная задача о существовании и устойчивости периодических движений маятников с периодом, равным периоду колебаний балки. Это означает, что в задаче реализуется кратный резонанс, когда частота внешнего периодического воздействия на систему равна сразу двум её частотам малых (линейных) собственных колебаний.

Рассматриваемая задача важна для общей математической теории нелинейных колебаний и (как модельная задача) представляет интерес при изучении движения спутников относительно их центров масс, в вопросах создания и эксплуатации робототехнических систем и др.

При исследовании применяются классические методы Ляпунова и Пуанкаре, КАМ-теория (теория Колмогорова, Арнольда, Мозера), алгоритмы компьютерной алгебры. Используются также конструктивные подходы к исследованию поведения гамильтоновых систем, разработанные в разные годы авторами доклада.

Показано существование и единственность периодического движения маятников, получено его аналитическое представление в виде ряда и исследована устойчивость. Для достаточно малых амплитуд колебаний балки в зависимости от величины безразмерного параметра, характеризующего жесткость пружины, соединяющей маятники, найденное периодическое движение либо неустойчиво по Ляпунову, либо устойчиво для большинства (в смысле меры Лебега) начальных условий, либо формально устойчиво (устойчиво в любом сколь угодно большом, но конечном, нелинейном приближении). Только для трех значений

безразмерной жёсткости пружины, которые отвечают границам областей параметрического резонанса, не получен ответ на вопрос об устойчивости .

Работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда (проект №19-11-00116) в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) .

On nonlinear oscillations and stability of coupled pendulums in the case of multiple resonance

Markeev A.P., Chekhovskaya T.N.
MAI, Moscow, Russia

The suspension points of two identical rigid bodies (physical pendulums) moving in a uniform gravity field are located on a horizontal beam that performs harmonic oscillations of small amplitude along a fixed horizontal straight line passing through the suspension points of the pendulums. The pendulums are connected to one another by a spring of low stiffness. It is assumed that the partial frequency of small oscillations of each of the pendulums is exactly equal to the frequency of horizontal oscillations of the beam. The report solves the nonlinear problem of the existence and stability of periodic motions of pendulums with a period equal to the period of oscillations of the beam. This means that a multiple resonance is realized in the problem, when the frequency of the external periodic action on the system is equal to two of its frequencies of small (linear) natural oscillations at once.

The problem under consideration is important for the general mathematical theory of nonlinear oscillations and (as a model problem) is of interest in studying the motion of satellites relative to their centers of mass, in the creation and operation of robotic systems, etc.

The study uses the classical methods of Lyapunov and Poincaré, KAM-theory (the theory of Kolmogorov, Arnold, Moser), algorithms of computer algebra. Also used are constructive approaches to the study of the behavior of Hamiltonian systems, developed in different years by the authors of the report.

The existence and uniqueness of the periodic motion of pendulums is shown, its analytical representation in the form of a series is obtained, and stability is investigated. For sufficiently small amplitudes of beam oscillations, depending on the value of the dimensionless parameter characterizing the rigidity of the spring connecting the pendulums, the found periodic motion is either unstable according to Lyapunov, or stable for most (in the sense of the Lebesgue measure) initial conditions, or formally stable (stable in any arbitrarily large, but finite, nonlinear approximation). Only for three values of the dimensionless spring stiffness, which correspond to the boundaries of the regions of parametric resonance, the answer to the question of stability has not been obtained.

This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 19-11-00116) at Moscow Aviation Institute (National Research University).

Принципы применения ИИ в БКУ КА

Чижикова Л.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Поиск - универсальный механизм решения задач ИИ. В задачах ИИ, последовательность шагов, необходимых для решения задачи, априори не известна, но должна определяются систематически исследованием альтернатив.

В целях применения ИИ для принятия решений в БКУ КА необходимо создать систему многокритериального анализа (СМА) .

При создании СМА на основе методов комбинаторики необходимо оценить потоки информации и оптимальный объем информации, вырабатываемый подсистемами для удовлетворения функционального назначения всей системы и каждой отдельной подсистемы как части рассматриваемой системы

Для СМА необходимо проанализировать сложность рассматриваемой системы, такой анализ включает в себя структурирование по критичности признаков возможных событий в системе, выбор конкретных алгоритмов и режимов работы подсистем, оценка объема информационных потоков и их оптимизация

Центральную роль в принятии решений играет понятие риска. Любая система состоит из надсистемы и подсистем.

При разработке комплекса СМА, оценки сложности и функциональности для проектирования программно-алгоритмических комплексов должна быть применена математическая теория устойчивых систем

Алгоритмы ИИ могут быть применены для избежания отказов и получения как результат катастрофы. Например, в задачах навигации, при использовании системы точной посадки ИИ должен определить и предсказать вероятность отказа навигации и переход от одного комплекта на другой с использованием одной камеры

С помощью алгоритма Дейкстры (АД), являющегося частным случаем применения теории графов, могут решаться задачи выхода из критической для жизнеспособности системы ситуации

В случае применения АД агент ИИ ищет алгоритм для достижения поставленной цели, при отрицательном результате действия алгоритма производится поиск заново. В динамических системах, какими являются системы сбора и обработки информации БКУ КА, данные действия агента по поиску подходящего частного алгоритма для достижения поставленной цели, должны быть ограничены временными задержками на выполнение операции.

При помощи ИИ может быть определено пространство состояний БКУ и ее подсистем, а также рассчитан возможный отказ и принятие решений выбора алгоритмов избегания отказа всей системы. Пространство состояний образует граф, узлами которого являются состояния, а дугами между узлами – действия. Тогда, мы можем задать множество целевых состояний системы

The artificial intelligence appliance principles in on-board control systems

Chizhikova L.A.

MAI, Moscow, Russia

Search is the universal mechanism for solving AI tasks. In AI problems, the sequence of steps is not known, but should be determined by systematic study of alternatives.

In order to apply AI for decision making in the ObCS it is necessary to create a system of multi-criteria analysis (MCA).

The MCA creation is based on the combinatorial methods and it is necessary to estimate information flows and optimal volume of information produced by subsystems to satisfy functional purpose of the whole system and each separate subsystem as a part of the system under consideration.

For the CMA it is necessary to analyze the complexity of the system under consideration, such an analysis includes structuring the criticality of the signs of possible events in the system, the choice of specific algorithms and modes of operation of subsystems, evaluation of the volume of information flows and their optimization.

The concept of risk plays a central role in decision making. Any system consists of a supersystem and subsystems.

During the development of the CMA complex, evaluation of complexity and functionality for the design of software-algorithmic complexes, the mathematical theory of stable systems should be applied.

AI algorithms can be applied to avoid failures and receive as a result of disaster. For example, in navigation tasks, when using a precision landing system, the AI must determine and predict the probability of failure of navigation and the transition from one set to another using one camera

With the help of the Dijkstra algorithm (AD), which is a special case of applying the graph theory, the problems of getting out of the situation critical for the viability of the system can be solved.

In case of BP application, the AI agent searches for an algorithm to achieve the set goal, and in case of a negative result, the algorithm is searched again. In dynamic systems, which are the

systems of information collection and processing of the BKU spacecraft, the agent's actions to find a suitable private algorithm to achieve the goal should be limited to time delays for the operation.

The AI can be used to determine the state of the ObCS and its subsystems, as well as to calculate the possible failure and make decisions on the choice of algorithms to avoid failure of the entire system. The state set forms a graph, the nodes of which are states, and the arcs between the nodes are actions. Then, we can set many target states of the system

Исследование электрогидравлического следящего привода с пониженным тепловыделением при помогающих нагрузках путём имитационного моделирования

Чулков М.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из основных тенденций в развитии централизованных гидравлических систем летательных аппаратов является повышение уровня номинального давления. Это позволяет уменьшить габариты гидроагрегатов и массу трубопроводов без изменения уровня надёжности гидросистемы. Для электрогидравлических рулевых приводов повышение уровня номинального давления выше 28 МПа означает проявление склонности к засорению такого элемента, как электрогидравлического усилителя (ЭГУ) типа «сопло-заслонка». В связи с этим целесообразно использовать в качестве ЭГУ обычный золотниковый гидрораспределитель, непосредственно управляемый линейным электродвигателем. Это повышает надёжность и КПД привода, устраняет постоянный проток жидкости через ЭГУ и упрощает конструкцию распределительной части привода. Недостатком данной схемы является дросселирование жидкости в золотнике второго каскада усиления при помогающих внешних нагрузках на выходное звено гидроцилиндра, что приводит к большим гидравлическим потерям, увеличению температурной напряжённости и снижению вязкости рабочей жидкости.

Устранить эти недостатки возможно установкой обратного клапана, через который соединяется с линией нагнетания та полость гидроцилиндра, давление в которой при помогающей нагрузке превышает давление нагнетания. Производится конструктивное разделение золотников таким образом, чтобы независимо управлять подачей жидкости в каждую из полостей гидроцилиндра. Для перепуска жидкости через обратный клапан в блок управления приводом вводится дополнительная логическая часть. Данное решение даёт следующие преимущества: при помогающей нагрузке снижается температура жидкости, так как она не дросселируется через рабочую окан золотников, что позволяет уменьшить массу теплообменных аппаратов гидросистем; исключается разрыв сплошности потока в полостях гидроцилиндра при помогающей нагрузке; за счёт разделения золотников снижается взаимовлияние контуров привода, питающихся от разных независимых гидросистем. Предлагаемое усовершенствование проверялось в ходе имитационного моделирования второго каскада усиления ЭГСП с гидродвигателем в среде Matlab/Simulink при различных величинах и направлениях внешних нагрузок, а также аналитически оценивался нагрев рабочей жидкости. Анализ результатов моделирования показал, что схема работоспособна и удовлетворяет требованиям к энергетическим характеристикам привода. Алгоритм перепуска жидкости через обратный клапан вступает в работу, начиная с помогающей нагрузки в 28% от максимальной.

Research of the electrohydraulic drive system with the lowered heat release at the helping loads by simulation modeling

Chulkov M.V.

MAI, Moscow, Russia

One of main trends at the development of aircraft hydraulic systems is increasing of nominal pressure. It allows to decrease dimensions of hydraulic units and mass of pipelines without change of reliability of hydraulic system. Increasing nominal pressure over 28 MPa means intensification of tendency to contamination of electrohydraulic nozzle-flapper servo valve. Therefore, it is expedient to use the usual spool-type hydraulic valve directly operated by the linear electric motor. It increases reliability and efficiency of the hydraulic drive, eliminates a constant flow through the

electrohydraulic amplifier and simplifies a design of a distributive part of the drive. The deficiency of this scheme is fluid flow through the spool valve of the second amplifying cascade at the helping external loads of an output link of a hydraulic cylinder. It leads to large hydraulic losses, increasing of temperature and decreasing a viscosity of hydraulic fluid.

It is possible to eliminate these deficiencies by installation of the check valve which connects to a pressure line chamber of a hydraulic cylinder with pressure, exceeding one in a pressure line at the helping load. Constructive division of two spool-type valves to operate flow rate in each of hydraulic cylinder's chambers independently is made. An additional logical part is entered into the actuator control unit for bypass of fluid through the check valve. This design gives the following advantages:

- 1) at helping loads the fluid temperature doesn't increase because it does not flow through work windows of spool-type valves. It will allow to reduce the mass of heat exchangers of hydraulic system;

- 2) the discontinuity of the fluid flow at hydraulic cylinder chambers at the helping loads is excluded;

- 3) an interference of the contours powered by different independent hydraulic systems decreases due to constructive division of spool-type valves.

The offered improvement was checked by simulation modeling of the second amplifying cascade of hydraulic drive using Matlab/Simulink software at various values and directions of external loads. Heating of work fluid was analytically estimated. The analysis of results of modeling showed that the scheme is efficient and meets requirements to power characteristics of the drive. The algorithm of bypass of hydraulic fluid through the check valve starts to work at 28% of maximum helping loads.

7.1. Международная конференция «Математическое моделирование»

7.1. International Conference “Mathematical Modelling”

Investigation of Incoming Boundary Layer Effects on the Flow Field of Transonic Compressor Rotor

Niu Han, Chen Jiang

Beihang University, Beijing, China

The change of thickness and total pressure loss of incoming boundary layer will lead to the change of the flow structure in the compressor, affecting the performance. In the transonic compressor rotor, the interaction among shock wave, tip leakage flow, tip leakage vortex and inlet boundary layer is very strong. When the inlet boundary layer changes, the interaction will inevitably change. The steady numerical simulation on rotor 37 are carried on with CFX 19.2. SST turbulence model is selected and 2.8 million grids are used and 33 grid points are set up in the tip clearance. The inlet boundary is given the total temperature of 288.15K, the total pressure of 101325Pa, the inlet turbulence density of 5% and the outlet is given the average static pressure. Meanwhile, the parabolic total pressure boundary layer method is adopted for the incoming boundary layer. Five main conclusions are received: Firstly, the efficiency degradation caused by the inflow boundary layer is composed of two parts, one of which is the "original" loss of the incoming boundary layer and the other is the additional loss caused by the influence of the incoming boundary layer on the flow structure. Secondly, the inlet boundary layer changes the shock structure in the boundary layer, meanwhile the pressure field changes the shock wave structure outside the boundary layer, causing the redistribution of the flow spanwise distribution in the range of 60% to 90% blade height. Thirdly, for the flow above 60% blade height, the shock wave in the inlet boundary layer is weakened so that the boundary layer separation on the suction surface is reduced and the wake loss is reduced. Meanwhile the shock wave outside the inlet boundary layer is enhanced so that the boundary layer separation strength on the suction surface of the blade increases and the wake loss increases. Fourthly the shock loss in the range of 60% to 90% blade height is the largest component of the additional loss. When the total pressure loss of the boundary layer increases, the contribution of the wake mixing loss to the additional loss increases gradually. Fifthly, the flow boundary layer weakens the formation and development of TLV system. The energy of TLF source fluid is an important factor affecting the leakage intensity. The variation of tip load and incoming flow energy caused by the inflow boundary layer will affect the formation and development of TLF/TLV at the same time.

Modeling and Solving Optimal Bang-Bang Control of Space Trajectory Design via Stochastic Convolution

Liu Jiaqi, Liqiang Hou, Shufan Wu

Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China

A method for tackling optimal Bang-Bang control of space trajectory design is studied and presented. The Bang-Bang control of trajectory design can be mathematically modeled and resolved using Two Point Boundary Value Problem (TPBVP) of costate and state ODE equations. In this paper, a new mathematical modeling technique using stochastic convolution and inference is proposed. Instead of the original deterministic terminal condition in the prevalent methods, a new Gaussian boundary is introduced to relax and redefine terminal conditions to be met. Impacts of varied initial guesses of costate on the terminal conditions are modeled and analyzed using convolution of the new terminal condition and impact covariance due to initial guesses. Covariance of varied initial costate and states are propagated using derivative-free Unscented Transformation (UT) propagator. Design space of the problem is then extended to a new space with associated

probabilistic metric of Gaussian terminal condition. The new objective is to find the optimal boundary solution with maximum boundary condition level. The objective function can be reformulated into a quasi-quadratic equation. The optimal solutions can then be obtained by searching the optimal initial guesses and variance of new introduced terminal conditions. A gradient based optimizer can be used for such purpose. Though the algorithm is modeled and designed stochastically, the method is implemented straight forward and deterministically, in particular, in a single-level way. Low cost computation of the algorithm is demonstrated and discussed through a numerical simulation of Bang-Bang control design of low thrust many-revolution interplanetary transfer.

A Model of the Coupled Effect of Two-position Local Geometric Deviation of High-Pressure Compressor Blade on the Aerodynamic Performance

Li Mingzhi, Xianjun Yu

Beihang University, Beijing, China

The coupling influence relationship between the deviations in different areas of the blade profile is complex. In this paper, the mid-section blade profile of the high-pressure compressor rotor blade is used as the research object, and the research is carried out by the design of experiments (DOE) and the surrogate model method. The purpose of this work is to provide a new idea for the development of rapid aerodynamic impact assessment methods of the aero-engine blade geometric deviations. First, the Hicks-Henne function is used to model the local geometric deviation of the blade profile, and the aerodynamic performance of the blade with local geometric deviations is numerically calculated by using the computational fluid dynamics and the DOE technologies. By analyzing the calculation results, the local geometric deviations at different positions on the blade profile and the scale of the local boundary layer are combined, and the coupling influence model of the two-position local geometric deviations on the aerodynamic performance of the blade profile is obtained. Then, this model is used to quickly evaluate the aerodynamic performance of the blade profile with local geometric deviations on other areas. And the evaluation results are compared with the results obtained by the DOE technology and the surrogate model, which verifies the acceptable accuracy of the model.

Non-integrability of the generalised Hill problem

Maciejewski Andrzej

University of Zielona Góra, Zielona Gora, Poland

The Hill's problem is a certain limiting case of the restricted three body problem. It describes dynamics of a zero mass body in the vicinity of a minor of two gravitating bodies. We consider a generalisation of the Hill problem proposed by A. B. Batkhin in [1]. This generalised version for chosen values of parameters coincides with Henon system, synodical Kepler problem and classical Hill problem. We study integrability of this system using methods of differential Galois theory. The main idea of this approach is that the integrability of the system reflects itself in the properties of the differential Galois group of the variational equations along a particular solution of the system. Namely, if the system is integrable then the differential Galois group of the variational equations is virtually Abelian, see [2]. This approach is very powerful and it was applied for proving non-integrability of many system. For overview see an overview article [3]. In order to find a particular solution for the generalised Hill problem we performed Levi-Civita regularisation of equation of motion. The obtained system is polynomial and it admits a family of particular solution given by elliptic function. The system has two degrees of freedom and the variational equations along chosen particular solutions are solvable. Nevertheless, we prove that the generalised Hill problem is not integrable in the Liouville sense showing that the identity component of the differential Galois group of the variational equation is not Abelian. In our consideration the crucial point was that we select particular solution given by degenerated elliptic functions. Thanks to this choice our arguments are somewhat more straightforward than those in the non-integrability prove of classical Hill problem presented in [4].

References:

1. A.B. Batkhin. Doklady Akademii Nauk, 2014, Vol. 458, No. 2, pp. 131–137.

2. Morales-Ruiz, Juan. *Differential Galois Theory and Non-Integrability of Hamiltonian Systems*, Birkhauser, 1999
3. Morales-Ruiz, Juan J., Ramis, Jean-Pierre, *Integrability of dynamical systems through differential Galois theory: a practical guide*, in *Differential algebra, complex analysis and orthogonal polynomials*, *Contemp. Math.* Vol 509 pp, 143–220, 2010
4. JUAN J. MORALES-RUIZ, CARLES SIMO and SERGI SIMON, *Ergodic Theory and Dynamical Systems*, vol. 25, No. 4, 1237–1256

Non-integrability of the spring-dumbbell satellite model

Przybylska Maria

University of Zielona Góra, Zielona Gora, Poland

We consider a dumbbell shape satellite composed by two point masses joined by a spring.

It can be considered as simplified model of a tether satellite. Such model was investigated for example in [1]. For more complicated model see [2].

The mass centre of the satellite moves in circular orbit. We assume that the tether is permanently straight and strained. The system has three degrees of freedom. We show that it is not integrable in the Liouville sense using methods of differential Galois theory. The main idea of this approach is that the integrability of the system reflects itself in the properties of the differential Galois group of the variational equations along a particular solution of the system. Namely, if the system is integrable then the differential Galois group of the variational equations is virtually Abelian, see [3]. As particular solution we took oscillation of the satellite perpendicular of the orbital plane. Then using the symplectic Kovacic algorithm [4] we proved that identity component of differential Galois group of four dimensional variational equations along this solution is not commutative.

References:

1. Vladislav V. Sidorenko and Alessandra Celletti. A “spring-mass” model of tethered satellite systems: properties of planar periodic motions. *Celestial Mech. Dynam. Astronom.* 107(1-2):209–231, 2010.
2. V.S. Aslanov and A.S. Ledkov. *Dynamics of Tethered Satellite Systems*. Elsevier Science, Burlington, 2012.
3. Morales-Ruiz, Juan. *Differential Galois Theory and Non-Integrability of Hamiltonian Systems*, Birkhauser, 1999
4. Thierry Combet and Camilo Sanabria. A symplectic Kovacic’s algorithm in dimension 4. In *ISSAC’18—Proceedings of the 2018 ACM International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation*, pages 143–150. ACM, New York, 2018.

A Mathematical Model for the Forward Variable Bypass Injector in a Double-Bypass Variable Cycle Engine and its Use

Wang Ruoyu, Baojie Liu, Xianjun Yu, Guangfeng An

Beihang University, Beijing, China

Variable Cycle Engine (VCE) is able to adapt to various operating conditions by adjusting its geometric configuration, which is a promising concept in the future development of aero-engines. Double bypass engine (DBE) is a typical kind of VCE that can work at both turbofan mode and turbojet mode with its specially designed adjustable components. The forward variable bypass injector (FVABI) is one of the key control components that regulates the airflow between the outer bypass and the inner bypass, which is crucial for the whole engine performance. FVABI distinguishes from conventional injectors with its non-coaxial structure, hence theories are needed to evaluate the FVABI performance.

In the present study, a mathematical model of the FVABI is established based on the conservation relations of the mixing flows. Flow direction as well as the wall forces caused by the bypass area variation are considered. A three-dimensional model of the double bypass compression system is then built to validate the mathematical model. The influences of different control parameters on the FVABI performance are also investigated using the validated model. Results show that the theoretical model could predict the working characteristics of FVABI with high

accuracy. The opening position, injection ratio, air total pressure ratio, and exit back pressure are the key factors that decide the aerodynamic performance of the FVABI.

Feature extraction of flow field using proper orthogonal decomposition

Yuan Yuan, Wenbin Song, Jiajie Luo

Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China

This paper demonstrates that Proper Orthogonal Decomposition (POD) could be used to extract features of CFD data of the flow field and reduce the dimension of the data. Firstly the extracted features are used to reconstruct the entire aerodynamic flow field using only a few points on the surface of the airfoil. Secondly, the inverse design of an airfoil is achieved by using Gappy POD. Given a target pressure distribution, an optimal airfoil shape can be determined. Finally, time modes from POD are used to analyze unsteady flow of a self-oscillating sweeping jet to reflect the oscillations of the flow field between the POD modes and capture the phase of the flow.

CFD, EFD (Experimental fluid dynamics) and FFD (Flight fluid dynamics) produce large multidimensional databases of different quality and quantity, at varying costs. CFD data are generally more cost-effective to obtain compared to either wind tunnel and flight test data. EFD is often obtained on smaller scale models and at lower Reynolds numbers due to limit in wind tunnel facilities but can be used to validate CFD results. However, CFD and EFD data often have a significant difference in size and details. So it is meaningful to extract a series of vectors that include important characteristics and the same time to compress the CFD data.

The proper orthogonal decomposition (POD) extracts the dominant feature of data set by extracting orthogonal modes. These modes describe the dominant characteristics of the flow field in space scale. The Gappy POD is a method to handle gappy data sets. It reconstructs an incomplete data set by using extracted POD modes and using linear regression to obtain the coefficients of each mode and minimize the error between the original points and reconstructed points. Combining the CFD and EFD data could produce a more comprehensive output of flow field. This data fusion technique is developed using Gappy POD to reconstruct the sparse EFD data to the size of the CFD data. The Gappy POD can also be used to solve the problem of inverse design. Given a target pressure distribution, the optimal airfoil shape can be determined by appropriate interpolation of known designs. Finally, to analyze an unsteady flow of a self-oscillating sweeping jet, time coefficients is calculated using POD. The first two time coefficients of the flow field form a circle in the phase plane and this feature can be used to extract the flow phase of unsteady flow.

Математическая модель исследования вертикальных и угловых колебаний корпуса пустынного трактора

Аннакулова Г.К., Астанов Б.Ж., Саидов С.А.

ИМСС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

В работе представлена математическая модель исследования вертикальных и угловых колебаний корпуса пустынного трактора. Рассмотрены колебания корпуса пустынного трактора с учетом физико-механических свойств и профиля поверхности грунта. Уравнения колебаний трактора получены в форме уравнений Лагранжа Прода. Произведен анализ вертикальных и угловых продольных колебаний остова пустынного трактора с учетом свойств почвы и подвесок. Получена характеристика плавности хода по ускорениям вертикальных колебаний остова пустынного трактора. По ускорениям остова трактора произведена сравнительная оценка характеристик плавности хода проектируемого трактора с характеристикой плавности хода по допустимым значениям ускорений подрессоренной массы от скорости (по Барскому И.Б.). Установлено, что характеристика плавности хода проектируемого трактора хорошо согласуется с нормированной характеристикой плавности хода тракторов.

При проектировании новых моделей тракторов большое внимание уделяется повышению их надежности и долговечности, унификации основных деталей и узлов, что позволяет повысить эффективность использования транспортных средств в производстве. Исследование влияния на устойчивость различных эксплуатационных и конструктивных факторов, обоснование и разработка уточненных расчетных параметров, позволяющие

объективно оценить устойчивость трактора является важной актуальной проблемой. Исследователями установлено, что рельеф полей оказывает сильное влияние на износ деталей коробки передач и заднего моста. Износ в условиях высокой рельефности более чем в 2 раза превышает износ, полученный на ровных участках, в особенности он сказывается на изнашивании деталей двигателя, трансмиссии и ходовой части [1].

Тяговое усилие транспортного средства между колесом и поверхностью земли является особым элементом конструкции для передвижения по дорогам и бездорожью. Адекватное сцепление с сухим песком связано со способностью транспортного средства преодолеть пустыни, песчаные дюны, подниматься по склонам. В работе (George L. Mason, 2018) [2] предложен унифицированный алгоритм для непрерывного прогнозирования тяги в диапазоне тормозных, буксируемых, и механизированных операций для колес, работающих на песке. Производительность алгоритма сравнивается с измеренными данными, а также сравнивается с двумя альтернативными уравнениями. Новое уравнение показало более высокую корреляцию и меньшую погрешность по сравнению с существующими уравнениями для приводных колес. Работа (Yongho Du, 2017) [3] посвящена исследованию разницы между поворотом и условиями рулевого управления, разработана численная модель песка для рулевого управления и установлена метод дискретных элементов на основе трехосных испытаний. В работе (George L. Mason, 2016) [4] представлены улучшенные алгоритмы расчета качения (погружения) колесных транспортных средств, работающих на рыхлом сухом песке. Моделирование транспортных средств в песке имеет решающее значение для характеристик устойчивости и мобильности по бездорожью в засушливых и прибрежных районах. Алгоритмы разработаны на основе 2737 испытаний, проведенных на песке с 23 различными конфигурациями колес. Работа (Joe D. Robinson, 2016) [5] посвящена многоцелевой оптимизации тяги транспортных средств на рыхлом сухом песке с использованием обобщенного метода пониженного градиента. Оптимизационная модель распределяет тягу между управляемыми и неуправляемыми колесами. Тяговое усилие, сопротивление движению, коэффициент продольной тяги, коэффициент боковой силы, прогиб шины и проскальзывание колеса являются ключевыми параметрами, которые появляются в математической модели для анализа тяговых характеристик. Представлен метод применения результатов оптимизации для прогнозирования характеристик колесной машины и контроля тяги на сухом песке. В работе (Fakshid Vahedifano, 2016) [6] произведена оценка мобильности с использованием сводной базы данных, разработанной для колесных транспортных средств, работающих на сухих песках. Проведено значительное количество лабораторных и полевых испытаний для оценки характеристик различных конструкций колес на рыхлых грунтах. В исследовании создана сводная база данных по испытаниям колесных транспортных средств, работающих на рыхлом сухом песке, для оценки существующих алгоритмов мобильности почвы. Работа (Chun-Lai Zhao, 2017) [7] посвящена применению метода FEM/DEM для моделирования взаимодействия шин с песком. Трехмерный метод конечных дискретных элементов применяется для моделирования взаимодействия шины с песком, где шина дискретизируется на конечные элементы шестигранника, а песок моделируется с использованием метода дискретных элементов. Эффективность метода подтверждается сравнением результатов моделирования с текущими отчетами результатов испытаний.

Составлена математическая модель движения уравнений колебаний пустынного трактора с учетом физико-механических свойств и профиля поверхности грунта. Выведены дифференциальные уравнения вынужденных колебаний остова трактора, работающего в пустынных землях в форме уровней Лагранжа Прода. Произведен анализ вертикальных и угловых продольных колебаний остова пустынного трактора с учетом свойств почвы и подвесок. Получена характеристика плавности хода по ускорениям вертикальных колебаний остова пустынного трактора. По ускорениям остова трактора произведена сравнительная оценка характеристик плавности хода проектируемого трактора с характеристикой плавности хода по допустимым значениям ускорений поддресоренной массы от скорости (по

Барскому И.Б.). Установлено, что характеристика плавности хода проектируемого трактора хорошо согласуется с нормированной характеристикой плавности хода тракторов.

Работа выполнена при поддержке гранта АН РУз № МВ-Атех.-2018-94.

Литература:

1. Мирошниченко А.Н. Основы теории автомобиля и трактора.–Томск, Издательство ТГАСУ, 2014. - 487с.
2. George L. Mason, James M. Williams, Farshid Vahedifard, Jody D. Priddy A Unified equation for predicting traction for wheels on sand over a range of braked, towed, and powered operations // Journal of Terramechanics, Volume 79, October 2018. P. 33-40.
3. Yonghao Du, Jingwei Gao, Lehua Jiang, Yuanchao Zhang Numerical analysis on tractive performance of off-road wheel steering on sand using discrete element method //Journal of Terramechanics, Volume 71, June 2017. P. 25-43.
4. George L. Mason, FarshidVahedifard, Joe D. Robinson, Isaac L. Howard, Jody D. PriddyImproved sinkage algorithms for powered and unpowered wheeled vehicles operating on sand //Journal of TerramechanicsVolume 67, October 2016. P. 25-36.
5. Joe D. Robinson, FarshidVahedifard, MasoudRais-Rohani, George L. Mason, Jody D. PriddyMulti-objective traction optimization of vehicles in loose dry sand using the generalized reduced gradient method//Journal of Terramechanics, Volume 64, April 2016. P. 46-57
6. FarshidVahedifard, Joe D. Robinson, George L. Mason, Isaac L. Howard, Jody D. PriddyMobility algorithm evaluation using a consolidated database developed for wheeled vehicles operating on dry sands // Journal of Terramechanics, Volume 63, February 2016. P.13-22
7. Chun-Lai Zhao, Meng-Yan ZangApplication of the FEM/DEM and alternately moving road method to the simulation of tire-sand interactions // Journal of Terramechanics, Volume 72, August 2017. P. 27-38
8. Сазонов И.С., Ки ЙонгЧой. Математические модели динамики разгона колесного трактора.//Вестник Белорусско-Российского университета.2014, № 4.–С.71-79.
9. Лурье А.И. Аналитическая механика. –М.: Физматгиз, 1961. -824 с.
10. Неймарк Ю.Н. Динамика негोलомных систем. –М.: Наука,1967. -520 с
11. Линник Д.А. Теоретические исследования колебаний масс колесного трактора с моделированием случайных возмущений на ПЭВМ. // Вестник Белорусско-Российского университета. 2015, № 2(47). – С. 23-30.
12. Аннакулова Г.К. Астанов Б.Ж., Саидов С.А., Юсупов А.З. Возмущенное движение универсально-пропашного трактора. XII Всероссийский съезд по фундаментальной проблеме теоретической и прикладной механики, Уфа, 19-24 августа 303-305 с. 2019 г.
13. Гельфгот Д.В. Колебания автомобиля на длинных неровностях. // Автомобильная и тракторная промышленность. 1951, №12. – С.7-15.
14. Барский И.Б., Анилович В.Я. и др. Динамика трактора.–М.: Машиностроение, 1973.- 335 с.

Mathematical model to study vertical and angular vibrations of the body of a desert tractor

Annaqulova G.K., Astanov B.J., Saidov S.A.

AS RUz IMSSS, Tashkent, Uzbekistan

The article presents a mathematical model to study vertical and angular vibrations of the body of a desert tractor. Vibrations of the body of a desert tractor are considered with account of physical and mechanical properties and the soil roughness. The equations of tractor vibrations are obtained in the form of Lagrange equations of the second kind. The analysis of vertical and angular longitudinal vibrations of the body of a desert tractor was performed taking into account the properties of soil and suspensions. The characteristic of the running smoothness is obtained according to the acceleration of vertical vibrations of the desert tractor frame. According to the accelerations of the tractor frame, a comparative assessment of the running smoothness characteristic of the designed tractor with the characteristic of the running smoothness calculated according to the permissible values of the acceleration of the spring mass relative to the speed (according to Barsky I.B.) was made. It was determined that the characteristic of the running

smoothness of the designed tractor is in good agreement with the normalized characteristic of the running smoothness of tractors.

In the design of new models of tractors, much attention is paid to improving their reliability and durability, unifying the main parts and assemblies, which makes it possible to increase the efficiency of using vehicles in production. Investigation of the influence of various operational and design factors on the stability, the justification and development of refined design parameters that allow an objective assessment of the tractor stability is an important and relevant problem. Researchers have found that the field roughness has a strong effect on the wear of gearbox and rear axle parts. Wear in conditions of high field roughness is 2 times higher than the wear on the flat areas; in particular, it affects the wear of engine parts, transmissions, and chassis [1].

The tractive effort of the vehicle between the wheel and the ground is a special structural element for on-road and off-road travel. The adequate grip on dry sand is related to the vehicle's ability to traverse deserts, sand dunes, and to climb slopes. In (George L. Mason, 2018) [2], a unified algorithm for predicting traction for wheels over a range of braked, towed, and powered operations is proposed for the wheels operating on sand. The performance of the algorithm is compared with the measured data and with two alternative equations. The new equation showed a higher correlation and fewer errors compared to the existing equations for drive wheels. The study in (Yongho Du, 2017) [3] is devoted to the difference between the turning and steering conditions; a numerical model for steering on sand was developed by the method of discrete elements based on triaxial tests. (George L. Mason, 2016) [4] presents improved algorithms for calculating the rolling (immersion) of wheeled vehicles operating on loose dry sand. Modeling vehicles that operate on sand is critical to the stability and mobility performance of off-road travel in arid and coastal areas. The algorithms were developed based on 2737 tests on sand with 23 different wheel configurations. The research given in (Joe D. Robinson, 2016) [5] is devoted to the multi-objective optimization of vehicle traction on loose dry sand using the generalized reduced gradient. The optimization model distributes traction between the steered wheels and unsteered wheels. Traction force, rolling resistance, traction coefficient, lateral force coefficient, tire deflection, and wheel slip are the key parameters that appear in the mathematical model to analyze traction performance. A method for applying the results of optimization to predict the characteristics of a wheeled vehicle and control traction on dry sand is presented too. In (Fakshid Vahedifano, 2016) [6], mobility was assessed using a summary database developed for wheeled vehicles operating on dry sand. A significant number of laboratory and field tests were conducted to assess the performance of various wheel designs. The study created a summary database on tests of wheeled vehicles operating on loose dry sand to assess existing soil mobility algorithms. The study in (Chun-Lai Zhao, 2017) [7] is devoted to the application of the FEM/DEM method for modeling the tire-sand interaction. The 3D finite element method is used to simulate the tire-sand interaction, where the tire is discretized into finite elements of a hexagon, and the sand is modeled with the discrete element method. The effectiveness of the method is confirmed by comparing simulation results with test results obtained.

A mathematical model of the desert tractor body vibrations is compiled, taking into account the physical and mechanical properties and the roughness of ground contacting surface. Differential equations of forced oscillations of the tractor frame operating in desert lands are derived in the form of Lagrange equations of the second kind. Vertical and angular longitudinal vibrations of the desert tractor frame are analyzed taking into account the properties of soil and suspensions. The characteristic of the running smoothness according to the accelerations of vertical vibrations of the desert tractor frame is obtained. According to the accelerations of the tractor frame, a comparative assessment of the characteristics of the running smoothness of the designed tractor with the characteristic of the running smoothness according to the permissible values of the acceleration of the sprung mass relative to the speed (according to Barsky I.B.) was made.

This research was supported by the grant of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. MV-Atekh.-2018-94.

References:

1. Miroshnichenko A.N. Bases of the theory of car and tractor. - Tomsk, TSUACE Publishing House, 2014. – 487p.

2. George L. Mason, James M. Williams, Farshid Vahedifard, Jody D. Priddy. A unified equation for predicting traction for wheels on sand over a range of braked, towed, and powered operations // Journal of Terramechanics, Volume 79, October 2018. P. 33-40.
3. Yonghao Du, Jingwei Gao, Lehua Jiang, Yuanchao Zhang. Numerical analysis on tractive performance of off-road wheel steering on sand using discrete element method // Journal of Terramechanics, Volume 71, June 2017. P. 25-43.
4. George L. Mason, Farshid Vahedifard, Joe D. Robinson, Isaac L. Howard, Jody D. Priddy. Improved sinkage algorithms for powered and unpowered wheeled vehicles operating on sand // Journal of Terramechanics Volume 67, October 2016. P. 25-36.
5. Joe D. Robinson, Farshid Vahedifard, Masoud Rais-Rohani, George L. Mason, Jody D. Priddy. Multi-objective traction optimization of vehicles in loose dry sand using the generalized reduced gradient method // Journal of Terramechanics, Volume 64, April 2016. P. 46-57
6. Farshid Vahedifard, Joe D. Robinson, George L. Mason, Isaac L. Howard, Jody D. Priddy. Mobility algorithm evaluation using a consolidated database developed for wheeled vehicles operating on dry sands // Journal of Terramechanics, Volume 63, February 2016. P.13-22
7. Chun-Lai Zhao, Meng-Yan Zang. Application of the FEM/DEM and alternately moving road method to the simulation of tire-sand interactions // Journal of Terramechanics, Volume 72, August 2017. P. 27-38
8. Sazonov I.S., Ki Yong Choi. Mathematical models of the dynamics of acceleration of a wheeled tractor. // Bulletin of the Belarusian-Russian University, 2014, No. 4. – P.71-79.
9. Lurie A.I. Analytical mechanics. –M.: Fizmatgiz, 1961. – 824 p.
10. Neimark Yu.N. Dynamics of non-holonomic systems. –M.: Nauka, 1967. -520 p
11. Linnik D.A. Theoretical studies of oscillations of masses of a wheeled tractor with simulation of random disturbances on a PC // Bulletin of the Belarusian-Russian University, 2015, No. 2 (47). - P. 23-30.
12. Annakulova G.K. Astanov B.Zh., Saidov S.A., Yusupov A.Z. Disturbed movement of the universal row-crop tractor. XII All-Russian Congress on Fundamental Problems of Theoretical and Applied Mechanics, Ufa, August 19-24, 2019, P. 303-305.
13. Gelfgot D.V. Vibrations of the vehicle on long-run roughness. // Automotive and tractor industry. 1951, No. 12. - P.7-15.
14. Barsky I.B., Anilovich V.Ya. et al. Dynamics of a tractor. -M.: Mechanical engineering, 1973. - 335 p.

Построение периодических движений динамически симметричного спутника, рождающихся из его конической прецессии, в случае кратного резонанса третьего порядка

Антипов А.А., Бардин Б.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается движение спутника относительно центра масс в центральном в гравитационном поле. Спутник моделируется твердым телом, а его центр масс движется по заданной кеплеровской орбите. Если орбита центра масс круговая, то возможно стационарное движение спутника, при котором ось его динамической симметрии перпендикулярна вектору скорости его центра масс и образует фиксированный угол с нормалью к плоскости орбиты, а сам спутник равномерно вращается вокруг своей оси динамической симметрии. Такое движение называют конической прецессией. На эллиптической орбите коническая прецессия невозможна, но представляет интерес задача о построении периодических движений спутника вблизи его конической прецессии. Если эксцентриситет орбиты достаточно мал, то с помощью метода малого параметра периодические движения, близкие к конической прецессии, могут быть получены аналитически [1-3].

В данной работе рассматривается неисследованный ранее резонансный случай кратного резонанса, когда частоты линейной системы относятся как 2:1, а наименьшая из них совпадает с частотой внешнего возмущения, вызванного эллиптичностью орбиты. Для

случая слабоэллиптической орбиты на основе методики работ [4-5] построены резонансные периодические движения в виде рядов по дробным степеням эксцентриситета. Исследован вопрос о бифуркации построенных периодических решений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-01-00637.

Литература:

1. Сарычев В.А. Асимптотически устойчивые стационарные вращения спутника. Космич. исслед., Т. 3, № 5, с. 667-673 (1965).
2. Чеховская Т.Н. Резонансные периодические движения осесимметричного спутника на эллиптической орбите», Космич. исслед., Т. 24, №. 1, с. 15-23 (1986).
3. Bardin B.S., Antipov A.A. On resonant periodic motions close to conical precession of a dynamically symmetric satellite in a weakly elliptic orbit. 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 927 012016 (2020).
4. Маркеев А.П., Чеховская Т.Н. О резонансных периодических решениях Гамильтоновых систем, рождающихся из положения равновесия, ПММ Вып. 46, с. 27-33 (1982).
5. Бардин Б.С. О ветвлении периодических решений системы близкой к системе Ляпунова. ПММ 63, № 4, с. 538-547 (1975).
6. Бардин Б.С. Периодические решения систем близких к системам Ляпунова, М: Изд-во МАИ, 60 С. (2005).

Construction periodic motions of dynamically symmetrical satellite, close to conical precession, in the case of multiple third-order resonance

Antipov A.A., Bardin B.S.
MAI, Moscow, Russia

The motion of the satellite relative to the center of mass in the Central gravitational field is considered. The satellite is modeled as a rigid body, and its center of mass moves along a given Kepler orbit. If the orbit of the center of mass is circular, then there exists the stationary motion such that the satellite rotates uniformly around its axis of dynamic symmetry, which is perpendicular to the velocity vector of satellite mass center and forms a fixed angle with the normal to the orbit plane. This motion is called a conical precession. In an elliptical orbit, conical precession is impossible, but the problem of constructing periodic motions of a satellite near its conical precession is of interest. If the eccentricity of the orbit is small enough, then periodic motions close to conic precession can be obtained analytically using the small parameter method [1-3].

In this paper, we consider the previously unexplored resonant case of multiple resonance, when the frequencies of linear system are related as 2:1, and the smallest of them coincides with the frequency of an external perturbation caused by the ellipticity of the orbit. For the case of a weakly elliptical orbit, resonant periodic motions in the form of series in fractional degrees of eccentricity are constructed based on the method of [4-5]. The question of bifurcation of constructed periodic solutions is investigated.

This research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project № 20-01-00637).

References:

1. Sarychev V.A. 1965 Asymptotically stable stationary rotations of the satellite Kosm. Issled. 3 667 – 673.
2. Chekhovskaia T.N. 1986 Resonant periodic motions of an axisymmetric satellite in an elliptical orbit Kosm. Issled. 24 15 – 23.
3. Bardin B.S., Antipov A.A. On resonant periodic motions close to conical precession of a dynamically symmetric satellite in a weakly elliptic orbit. 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 927 012016 (2020).
4. Markeev A.P., Chekhovskaya T.N. On resonant periodic solutions of Hamiltonian systems emanating from equilibrium position J. Appl. Math. Mech. 46 27 – 33.

5. Bardin B S 1975 Bifurcation of periodic solutions of a system close to a Lyapunov system J. Appl. Math. Mech. 63 517 – 525.

6. Bardin B.S. 2005 Periodic solutions of systems close to Lyapunov systems (Moscow: Moscow Aviation Institute Press) p 60.

Математическое моделирование безопасного отделения полезной нагрузки с помощью ПП «Логос» на сетках типа «Химера»

Арифуллин Р.Х., Сокулер М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Отделение авиационного средства поражения (АСП) от воздушных судов является важнейшим вопросом в контексте процесса интеграции АСП. Необходимо провести детальные инженерные анализы, продувку в аэродинамической трубе и летные испытания. С учетом последних достижений в области вычислительных методов численный анализ может в некоторых случаях заменить летные испытания, испытания в аэродинамической трубе и испытания по оценке воздействия АСП в процессе сертификации авиационной техники. Проверенные вычислительные методы могут быть использованы для завершения процесса отделения АСП. Это приведет к эффективному с точки зрения затрат и времени интеграционному исследованию. В настоящей работе рассматривается математическое моделирование отделения авиационного средства поражения JDAM GBU-31 от самолета F-18 с помощью ПП «ЛОГОС» для проверки инженерного подхода на трансзвуковой скорости. Результаты математического анализа сравниваются с экспериментальными данными. Текущая задача решалась на сетках типа Химера [1],[2]. Подход "Химера" позволяет проводить расчёты, в которых для каждого твёрдого тела строится своя сетка, учитывающая особенности формы и режима течения. Вычислительный процесс на сетках типа «Химера» учитывает наличие перекрытий и обеспечивает взаимодействие разделенных сеток. Данная методика обеспечивает взаимодействие топологически несвязанных регионов как единого целого и позволяет получать качественные результаты. Для обеспечения эффективного численного моделирования процессов обтекания подвижных тел необходимо внедрить алгоритмы на основе скользящих сеток. Данная технология гарантирует постоянство сеточной топологии расчетной модели и лишена недостатков, присущих методикам, основанных на адаптивных и деформирующихся сетках.

Литература:

1. Ю.Н. Дерюгин, Р.Н. Жучков, Д.К. Зеленский, А.В. Саразов. «Технология решения задач на сетках типа "ХИМЕРА" в ПП ЛОГОС». Супервычисления и математическое моделирование: Труды XV международной конференции / Под ред. Р. М. Шагалиева (2015)

2. Benek, J. A., P. Buning and J. Steger. "A 3-D Chimera Grid Embedding Technique." (1985).

Mathematical modeling of safe payload separation using Logos software on Chimera-type grids

Arifullin R.H., Sokuler M.S.

MAI, Moscow, Russia

The separation of aircraft weapons from aircraft is a critical issue in the context of the aircraft weapons integration process. It is necessary to conduct detailed engineering analyses, a purge in a wind tunnel and flight tests. Taking into account recent advances in computational methods, numerical analysis can in some cases replace flight tests, wind tunnel tests, and aircraft weapons impact assessment tests in the aviation certification process. Proven computational methods can be used to complete the aircraft weapons separation process. This will lead to cost-and time-efficient integration research. In this paper, we consider mathematical modeling of separation of the jdam gbu-31 aircraft from the f-18 aircraft using the logos software to test the engineering approach at transonic speed. The results of mathematical analysis are compared with experimental data. The current problem was solved on Chimera-type grids. The "Chimera" approach makes it possible to perform calculations in which a separate grid is constructed for each solid body, taking into account the features of the shape and flow regime. The computational process on "Chimera" type grids takes into account the presence of overlaps and ensures the interaction of separated grids. This

method ensures the interaction of topologically unrelated regions as a whole and allows you to get high-quality results. To provide effective numerical simulation of the flow processes of moving bodies, it is necessary to implement algorithms based on sliding grids. This technology guarantees the constancy of the grid topology of the computational model and does not have the disadvantages inherent in methods based on adaptive and deformable grids.

Моделирование физических явлений в процессе эрозии мишени при планарном магнетронном распылении

Аяши О.А., Алсайед О.М.

КФУ, г. Казань, Россия

Моделирование потока ионной бомбардировки и эрозии мишени при прямоугольном магнетронном распылении реализовано в COMSOL Multiphysics. Реализованная модель основана на кодах Монте-Карло, направленных на отслеживание статистически репрезентативного набора заряженных частиц, высвобождаемых случайным образом и подвергающихся воздействию сил со стороны электромагнитных полей. Представленная модель отображает траектории энергичных электронов и бомбардируемых ионов в газовых разрядах постоянного тока (DC) низкого давления, подверженных действию сил от задействованных статических электромагнитных полей. В магнитном поле среди заряженных частиц есть электроны, которые движутся по спирали вокруг силовых линий магнитного поля, подвергаясь более ионизирующим столкновениям с газообразными нейтралами вблизи поверхности мишени. Относительные распределения потока ионной бомбардировки и эрозии мишени получены путем суммирования и проецирования ионизационных столкновений на поверхность мишени. Для расчета скорости эрозионного износа или общей массы, удаляемой с единицы площади из-за воздействия ионной бомбардировки на поверхность мишени, следует использовать выражение Finnie, где оно определяет скорость эрозии в терминах отношения потери массы из-за поверхности цели. Кроме того, количество удаленной массы было предсказано с помощью ионной бомбардировки. Результаты этой работы могут быть использованы для понимания физических явлений и изучения механизмов, имеющих место в магнитно-усиленных разрядах постоянного тока, а также для улучшения конструкции магнетронов. Хотя дискретные модели типа Монте-Карло можно рассматривать как классическое средство анализа физических явлений в процессе эрозии цели, настоящая модель объединяет все задействованные вычисления в единой вычислительной среде с помощью COMSOL Multiphysics. Такие модели обычно основываются на комбинации инструментов с необходимостью взаимодействия и обмена данными между последними. Сравнивая фактические измерения и эксперименты по травлению мишеней с результатами моделирования, полученные им результаты полностью согласуются.

Simulation of physical phenomena in the process of target erosion in a planar magnetron sputtering

Ayachi O.A., Alsaiyed O.M.

KFU, Kazan, Russia

A simulation for the ion bombardment flux and target erosion in rectangular magnetron sputtering is implemented by COMSOL Multiphysics. The model implemented is based on Monte Carlo codes aimed at tracing a statistically representative set of charged particles released in a stochastic fashion and subjected to forces from electromagnetic fields. The presented model portrays trajectories of energetic electrons and bombardment ions within the low-pressure direct current (DC) gas discharges subjected to forces from the involved static electromagnetic fields. In a magnetic field, among the charged particles there are electrons to subject to helical paths around magnetic field lines, undergoing more ionizing collisions with gaseous neutrals near the target surface. Relative distributions of ions bombardment flux and target erosion are obtained by summation and projection of ionization collisions onto the target surface. For calculating the rate of erosive wear or the total mass removed per unit area due to the impact of ion bombardment on a target surface, to be by the expression Finnie, where it defines the erosion rate in terms of the ratio

of mass lost from the target surface. Furthermore, the amount of mass removed was predicted by ion bombardment. The results of this work can be used to understand physical phenomena and study the mechanisms taking place in magnetically enhanced DC discharges and to improve the design of magnetrons. Even though discrete models of Monte Carlo type can be considered as a classical means in an analysis of physical phenomena in the process of target erosion, the present model unifies all involved computations within a single computational framework by using COMSOL Multiphysics. Such models usually rely on a combination of tools with the need for interfacing and data-exchange between the latter. Comparing actual measurements and target etching experiments with simulation results, he obtained results are in perfect agreement

Исследование влияния различных типов сотового заполнителя на прочность при ударном воздействии

¹Бабайцев А.В., ²Волков А.В.

¹МАИ, ²ИПМ РАН, г. Москва, Россия

Сотовые заполнители позволяют существенно облегчить конструкции при этом сохраняя прочностные и жесткостные характеристики. В частности, широко используются сотовое заполнение в аддитивном производстве, позволяющее помимо вышеупомянутого уменьшить энергозатратность при печати. Однако материалы, получаемые с применением аддитивных технологий, обладают анизотропией, что существенно усложняет процесс моделирования подобных структур. Проведение ударных испытаний и фиксация процесса разрушения крайне сложна и в большинстве случаев требует существенных затрат, поэтому корректное моделирование подобных структур при ударном воздействии важен.

Проводилось исследование прочности на удар заполнителя квадратной формы, изготавливаемого по технологии FDM с использованием материалов PLA и ABS, в зависимости от его объемного содержания. Образцы изготавливались из материалов PLA ESun Grey и REC ABC Natural, на принтере Picaso Designer. Изготавливались образцы с объемным содержанием заполнителя от 10% до 80%. Исследовалась прочность сотового заполнителя при ударном воздействии вдоль и поперек плоскости сот. Заполнитель представлял собой сетчатую структуру с ячейкой в форме квадрата, размер которого выбирался в зависимости от объемного содержания образца. Испытание проводилось на маятниковом копре.

Моделирование проводилось методом конечных элементов. Свойства материалов задавались упруго-пластичные при моделировании исследуемого образца, а молот рассматривался в качестве абсолютно твердого тела. В качестве граничных условиях устанавливалось свободное опирание. На основании полученных результатов и дальнейших расчетов были получены значения энергий необходимой для разрушения образца для каждого варианта заполнителя. Выявлено влияние зависимости значения объемного содержания на прочность образцов.

Численное моделирование качественно коррелирует с экспериментом, а расхождение с экспериментом связано с возможным влиянием параметров печати на уровень механических характеристик. Повышение точности моделирования можно достичь путем использования механических характеристик, полученных с образцов, напечатанных при тех же параметрах что и изделие. Несмотря на это точность полученного моделирования достаточна для прогнозирования процесса удара и разрушения сотового заполнителя, полученного по технологии FDM и находится в пределах допустимой погрешности. По результатам испытаний получена зависимость объемного содержания заполнителя от затраченной на разрушение образца энергии.

Study of the impact of different types of honeycomb core on strength

¹Babaytsev A.V., ²Volkov A.V.

¹MAI, ²IAM RAS, Moscow, Russia

Honeycomb fillers allow to simplify constructions essentially, while maintaining strength and rigidity characteristics. In particular, honeycomb fillers are widely used in additive production, which, in addition to the above, allows to reduce energy consumption during printing. However,

materials produced using additive technologies have anisotropy, which significantly complicates the process of simulation of such structures. Impact testing and fixation of the fracture process is extremely difficult and in most cases requires significant costs, so correct simulation of such structures under impact is important.

The impact strength of a square-shaped filler produced by FDM technology using PLA and ABC materials, depending on its volumetric content, was studied. The samples were made of PLA ESun Grey and REC ABC Natural materials, using Picaso Designer. Samples with aggregate volume content from 10% to 80% were produced. The strength of honeycomb core under impact action along and across the honeycomb plane was studied. The filler was a mesh structure with a square-shaped cell, the size of which was selected depending on the volume content of the sample. The test was conducted on a pendulum copra.

Modeling was carried out by finite element method. Properties of materials were set elastic-plastic at modeling of the investigated sample, and the hammer was considered as an absolutely solid body. The free support was set as boundary conditions. On the basis of the obtained results and further calculations, the values of energies necessary for sample destruction for each variant of the filler were obtained. The influence of dependence of volumetric content value on specimen strength was revealed.

The numerical modeling qualitatively correlates with the experiment, and the discrepancy with the experiment is connected with possible influence of printing parameters on the level of mechanical characteristics. Increase of accuracy of modelling can be reached by use of the physical and mechanical characteristics received from the samples printed at the same parameters as a product. Despite this, the accuracy of the obtained simulation is sufficient to predict the process of impact and destruction of honeycomb core obtained by FDM technology and is within the limits of acceptable error. By results of tests the dependence of volume content of a filler on energy spent on destruction of the sample is received.

Математическое моделирование и исследование поведения терромагнитоупругой устойчивости сверхпроводящей цилиндрической оболочки

¹Багдасарян Г.Е., ²Пантелеев А.В., ¹Микилян М.А., ¹Варданян И.А.

¹НАН РА, г. Ереван, Армения

²МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваются вопросы устойчивости токонесящей замкнутой круговой сверхпроводящей цилиндрической оболочки, находящейся в постоянном температурном поле. Считается, что электромагнитные свойства среды, окружающей оболочку, эквивалентны свойствам вакуума. Исследование приведено на основе системы трехмерных линеаризованных уравнений и соответствующих поверхностных условий магнитоупругости сверхпроводящего тела, модуль упругости которого зависит от температуры [1]. Отметим, что при получении выше приведенных уравнений и поверхностных условий учтено, что: а) магнитное поле не проникает в толщину оболочки; б) возмущение температурного поля равно нулю; в) справедлива гипотеза Неймана об отсутствии сдвигов от изменения температуры в бесконечно малом элементе оболочки. С использованием гипотезы недеформируемых нормалей из указанной системы методами теории тонких оболочек [2,3] получены двумерные уравнения устойчивости сверхпроводящей цилиндрической оболочки под действием магнитного поля, создаваемого нестационарным поверхностным током. На этой основе решением конкретных задач установлена возможность потери как статической (в случае постоянного тока), так и динамической (в случае гармонического во времени нестационарного тока) устойчивости оболочки. Получены формулы, определяющие критические параметры поверхностного тока, при которых сверхпроводящая оболочка теряет устойчивость. Полученные формулы показывают, что температурное поле приводит к изменению предельной толщины оболочки. А именно: она уменьшается при отрицательных и увеличивается при положительных температурах. Установлено также, что: а) важной является область неустойчивости, расположенная вблизи первой частоты; б) ширина обеих областей устойчивости является монотонно возрастающей функцией амплитуды плотности

тока, в) температурное поле может существенно как уменьшить, так и увеличить ширину областей неустойчивости. Показано также как стабилизирующее, так и дестабилизирующее влияние зависимости модуля упругости материала оболочки от температуры.

Литература:

1. Bagdasaryan G.Y. (1983) Magnetoelastic stability of superconductive shells in a magnetic field. Proc. of the IUTAM-IUPAP symposium "The mechanical behavior of electromagnetic solid continua", Paris, pp.415-420.

2. Bagdasaryan G.Y., Mikilyan M.A. (2016) Effects of Magnetoelastic Interactions in Conductive Plates and Shells, Springer.

3. Bagdasaryan G., Mikilyan M., Vardanyan I., Pantelev A. (2020) Influence of supersonic flow on nonlinear oscillations of a cylindrical shell. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1474 (2020) 012007; doi:10.1088/1742-6596/1474/1/012007.

Mathematical modeling and study of behavior of thermomagnetoelastic stability of a superconducting cylindrical shell

¹Bagdasaryan G.Y., ²Pantelev A.V., ¹Mikilyan M.A., ¹Vardanyan I.A.

¹NAS RA, Yerevan, Armenia

²MAI, Moscow, Russia

The issues of stability of a current-carrying closed circular superconducting cylindrical shell in a constant temperature field are considered. It is considered that the electromagnetic properties of the medium surrounding the shell are equivalent to those of a vacuum. The study is based on a system of three-dimensional linearized equations and the corresponding surface conditions for magnetoelasticity of a superconducting body, the modulus of elasticity of which depends on temperature [1]. Note that when obtaining the equations and surface conditions, it was taken into account that: a) the magnetic field does not penetrate into the shell thickness; b) the perturbation of the temperature field is zero; c) Neumann's hypothesis about the absence of shifts from temperature changes in an infinitesimal element of the shell is valid. Using the hypothesis of non-deformable normals from this system, two-dimensional equations of stability of a superconducting cylindrical shell under the action of a magnetic field created by a non-stationary surface current are obtained by the methods of the theory of thin shells [2,3]. On this basis, by solving specific problems, the possibility of loss of both static (in the case of direct current) and dynamic (in the case of a time-harmonic non-stationary current) stability of the shell was established. Formulas that determine the critical parameters of the surface current at which the superconducting shell becomes unstable are obtained. These formulas show that the temperature field leads to a change in the limiting shell thickness. Namely: it decreases at negative temperatures and increases at positive temperatures. It was also found that: a) the region of instability located near the first frequency is important; b) the width of both stability regions is a monotonically increasing function of the amplitude of the current density, c) the temperature field can significantly both decrease and increase the width of the instability regions. It is also shown both stabilizing and destabilizing influence of the dependence of the elastic modulus of the shell material on temperature.

References:

1. Bagdasaryan G.Y. (1983) Magnetoelastic stability of superconductive shells in a magnetic field. Proc. of the IUTAM-IUPAP symposium "The mechanical behavior of electromagnetic solid continua", Paris, pp.415-420.

2. Bagdasaryan G.Y., Mikilyan M.A. (2016) Effects of Magnetoelastic Interactions in Conductive Plates and Shells, Springer.

3. Bagdasaryan G., Mikilyan M., Vardanyan I., Pantelev A. (2020) Influence of supersonic flow on nonlinear oscillations of a cylindrical shell. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1474 (2020) 012007; doi:10.1088/1742-6596/1474/1/012007.

Применение математического языка программирования в химической индустрии на примере процесса ректификации бинарной смеси

Заболотная Е.П., Баранова Я.П., Александра А.Г.
РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия

Рассмотрен процесс разделения простой бинарной смеси «Ацетон-вода» для описания работы ректификационной колонны с целью получения физико-математических параметров.

Изучен математический язык программирования Python для технического расчета ректификационной колонны.

Предложено применение математического языка программирования на примере Python с известными физико-математическими параметрами ректификационной колонны.

С развитием научно-технического прогресса цифровая экономика, или цифровизация, не стоит на месте, интенсивно развиваясь во всех возможных направлениях [1]. Так, если рассматривать химическую отрасль, с помощью инструментов электронно-вычислительной машины (ЭВМ) сегодня можно спроектировать не только работу единицы оборудования, но и технологический узел химико-технологического процесса (ХТП), и даже химико-технологической системы (ХТС) в целом [2]. Результаты таких вычислений интересны как специалистам, так и подрастающему поколению специалистов.

Задачи:

1. Выбрать язык программирования, с помощью которого реально описать работу аппарата ХТС или описать с помощью выбранного языка химико-технологический процесс.

2. Рассчитать ректификационную колонну с применением языка программирования Python в среде Jupyter Notebook.

Поскольку программ для описания технологического процесса, его отдельных составляющих множество [5], в данной работе будет рассмотрен наиболее эффективный в плане доступности приобретения (бюджетного варианта приобретения), распространённости (свободного доступа в интернете)/востребованности среди его потребителей, лёгкости усвоения при изучении и непосредственном использовании язык программирования, как один из инструментов математического моделирования (ММ), а так же будет описано его применение на конкретном примере.

В числе самых востребованных языков программирования за счёт доступности, лёгкости применения и возможности решения поставленных задач отмечают JavaScript, Ruby, Java, C, C++, Python [6]. У каждого из них есть свои особенности и преимущества [7].

Для наглядного решения из рассматриваемого перечня был выбран Python, так как данный язык программирования является достаточно гибким, подходит для написания как сайтов, так и решения задач.

В ходе работы был проведён анализ существующих языков программирования; обоснована рекомендация выбора Python для программирования технологического процесса; написан код по расчёту ректификационной колонны непрерывного действия насадочного типа, произведены расчёт материального баланса процесса массообмена, построена диаграмма состава и состояния системы, определено рабочее флегмовое число, произведены расчёты рабочих линий колонны, средних массовых потоков жидкости и пара, диаметра колонны, высоты насадки и высоты самой колонны.

Благодарим за научные консультации научного руководителя Академика РАН Мешалкина В.П.

Литература:

1. Мешалкин В.П. Ресурсоэнергоэффективные методы энергообеспечения и минимизации отходов нефтеперерабатывающих производств / В.П. Мешалкин. – Москва, Генуя: Химия, 2010. – 393 с.

2. Мешалкин В.П. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем: учеб. пособие / В.П. Мешалкин, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко. – Харьков: НТУ"ХПИ", 2006. – 410 с.

3. Петлюк Ф.Б., Многокомпонентная ректификация / Петлюк Ф.Б., Серафимов Л.А. – Теория и расчёт. –М.: Химия, 1983. – 304 с.

4. Мешалкин В.П. Введение в инжиниринг энергоресурсосберегающих химико-технологических систем/ В.П. Мешалкин. – Москва: Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, 2020. –211с.

5. Доля П.Г. Введение в научный Python / П.Г. Доля. – Харьков: , 2016. – 265 с.

6. Маккинни У. Python и анализ данных / У. Маккинни. – Москва: ДМК Пресс, 2015. – 540 с.

Application of a mathematical programming language in the chemical industry on the example of the binary mixture rectification process

Zabolotnaya E.P., Baranova Y.P., Aleksandrova A.G.

MUCTR, Moscow, Russia

With the development of scientific and technological progress, the digital economy, or digitalization, does not stand still, intensively developing in all possible directions. So, if we consider the chemical industry, using the tools of an electronic computer (computer) today, it is possible to design not only the operation of a piece of equipment, but also a technological unit of a chemical technological process (CTP), and even a chemical technological system (CTS) as a whole. The results of such calculations are of interest to both specialists and the younger generation of specialists.

Tasks:

1. Choose a programming language with which to actually describe the operation of the CTS apparatus or to describe the chemical technological process using the selected language.

2. Calculate a distillation column using the Python programming language in the Jupyter Notebook environment.

Since there are many programs for describing the technological process, its individual components, this paper will consider the most effective in terms of the availability of acquisition (budget purchase option), prevalence (free access on the Internet) / demand among its consumers, ease of assimilation when studying and direct use of the programming language, as one of the tools of mathematical modeling (MM), as well as its application will be described on a specific example.

JavaScript, Ruby, Java, C, C ++, Python are among the most popular programming languages due to accessibility, ease of use and the ability to solve the assigned tasks. Each of them has its own characteristics and advantages.

For a visual solution, Python was chosen from the list under consideration, since this programming language is quite flexible, suitable for writing both sites and solving problems.

An analysis of existing programming languages was carried out; the recommendation of choosing Python for programming the technological process is justified; a code was written for calculating a continuous distillation column of a packed type, the material balance of the mass transfer process was calculated, a diagram of the composition and state of the system was constructed, the working reflux ratio was determined, the operating lines of the column, the average mass flows of liquid and vapor, the diameter of the column, the height of the packing and the height were calculated the column itself.

We are grateful for the scientific advice of the scientific adviser, Academician of the RAS V.P. Meshalkin.

О методе введения локальных координат в задаче об орбитальной устойчивости периодических движений тяжелого твердого тела с неподвижной точкой

Бардин Б.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Излагается методика введения локальных координат в окрестности периодических движений автономной гамильтоновой системы с двумя степенями свободы. Подходящий выбор локальных координат позволяет свести задачу об орбитальной устойчивости периодических движений исходной системы к задаче об устойчивости положения равновесия редуцированной системы с одной степенью свободы, которая периодически зависит от новой независимой переменной. В статье [1] был предложен конструктивный метод введения локальных координат при помощи линейной канонической замены

переменных. Данный метод позволяет решать широкий круг задач об орбитальной устойчивости, но в ряде случаев его применение может оказаться затруднительным из-за появления сингулярности в коэффициентах соответствующей линейной замены.

В данной работе предлагается метод и описывается конструктивный алгоритм построения нелинейной канонической замены переменных, позволяющий избежать сингулярности при введении локальных координаты. В качестве приложения рассмотрена задача об орбитальной устойчивости периодических движений тяжелого твердого тела с неподвижной точкой в случае Бобылева–Стеклова. Результаты исследования орбитальной устойчивости полностью согласуются с результатами, полученными ранее другим методом в работе [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-01-00637.

Литература:

1. Маркеев А.П. Алгоритм нормализации гамильтоновой системы в задаче об орбитальной устойчивости периодических движений – ПММ, 2002, Т. 66, Вып. 4, С. 929-928.

2. Бардин Б.С. Об орбитальной устойчивости маятникообразных движений твердого тела в случае Бобылева–Стеклова. – Нелинейная динамика. 2009. Т. 5. № 4. С. 535-550.

Introducing local coordinates in the problem of orbital stability of periodic motions of a heavy rigid body with a fixed point

Bardin B.S.

MAI, Moscow, Russia

A technique for introducing local coordinates in the vicinity of periodic motions of an autonomous Hamiltonian system with two degrees of freedom is described. A suitable choice of local coordinates makes it possible to reduce the problem of orbital stability of periodic motions of the original system to the problem of stability of the equilibrium position of a reduced system with one degree of freedom, which periodically depends on a new independent variable. In [1], a constructive method was proposed for introducing local coordinates by using a linear canonical change of variables. This method allows one to solve a wide range of problems on orbital stability, but in some cases its application can be difficult due to the appearance of a singularity in the coefficients of the corresponding linear replacement.

In this paper, we propose a method and describe a constructive algorithm for constructing a nonlinear canonical change of variables, which makes it possible to avoid the singularity when introducing local coordinates. As an application, the problem of orbital stability of periodic motions of a heavy rigid body with a fixed point in the Bobylev-Steklov case is considered. The results of the study of orbital stability are in full agreement with the results obtained earlier by another method in [2].

This research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project № 20-01-00637).

References:

1. Markeev A.P. An algorithm for the normalization of a Hamiltonian system in the problem of orbital stability of periodic motions - J. Appl. Maths Mechs., 2002, V. 66, no. 6, pp. 889-896.

2. Bardin B.S. On the orbital stability of pendulum-like motions of a rigid body in the bobylev-steklov case – Regular and Chaotic Dynamics. 2010. Vol. 15. № 6. pp. 704-716.

Метод численного моделирования высокоинтенсивных течений

Беляев П.Е.

РФЯЦ-ВНИИТФ, г. Снежинск, Россия

Высокоинтенсивные течения могут возникнуть в ходе множества аварийных и штатных технологических процессов, таких как истечение из ёмкости высокого давления, детонация горючих веществ, перемещение тела в плотной среде с высокой скоростью и так далее. Для таких процессов характерно возникновение скачков уплотнения, сильных градиентов температуры и концентраций. Экспериментальное исследование, зачастую, является слишком дорогостоящим, или вовсе невозможным, в то время как численное моделирование является существенно более выгодным и безопасным способом изучения таких явлений.

Для высокоинтенсивных течений характерно возникновение таких особенностей, как ударные волны – областей, сравнимых с длиной свободного пробега молекулы, в которых градиенты газодинамических величин стремятся к бесконечности. Для корректного описания таких процессов, численный метод должен включать механизм роста энтропии на фронте ударной волны. В качестве такого механизма в предлагаемом методе используется модификация хорошо зарекомендовавшего себя метода В.Ф. Куропатенко для расчёта сильных ударных волн, делающая возможным его применение в эйлеровых координатах.

Возможность применять метод в эйлеровых координатах важна в связи с существенными градиентами температур и концентраций – предпосылками интенсивных химических реакций. Использование эйлеровых координат значительно облегчает моделирование течений многокомпонентных составов в расчётных областях со сложной геометрией. Предлагаемый в данной работе метод позволяет моделировать многокомпонентные течения с числом Маха выше единицы с высокой точностью и делает возможным, в перспективе, учёт химических реакций.

Method for numerical simulation of high-intensity flows

Belyaev P.E.

RFNC-VNIITF, Snezhinsk, Russia

High-intensity flows can arise in the course of many emergency and routine technological processes, such as the outflow from a high-pressure vessel, detonation of combustible substances, movement of a body in a dense medium at high speed, and so on. Such processes are characterized by the occurrence of shock waves, strong temperature and concentration gradients. Experimental research is often too expensive, or even impossible, while numerical simulation is a much more beneficial and safer way to study such phenomena.

High-intensity flows are characterized by the appearance of features such as shock waves - regions comparable to the molecular mean free path, in which the gradients of gas-dynamic quantities tend to infinity. For a correct description of such processes, the numerical method should include the mechanism of entropy growth at the shock front. The proposed method uses a modification of the well-proven method of V.F. Kuropatenko for calculating strong shock waves, making it possible to use this method in Eulerian coordinates.

The ability to apply the method in Eulerian coordinates is important due to significant temperature and concentration gradients, which are prerequisites for intense chemical reactions. The use of Euler coordinates greatly facilitates the modeling of flows of multicomponent mixtures in computational domains with complex geometry. The method proposed in this paper is capable of to simulate multicomponent flows with a Mach number above one with high accuracy and makes it possible, in the future, to take into account chemical reactions.

Моделирование установившегося течения вязкопластичной жидкости в круглой трубе с учетом вязкой диссипации

Борзенко Е.И., Шрагер Г.Р.

ТГУ, г. Томск, Россия

Рассматривается установившееся одномерное течение неньютоновской несжимаемой жидкости в осесимметричной трубе с заданным постоянным расходом. Реология жидкости описывается законом Балкли-Гершеля с экспоненциальной зависимостью реологических параметров от температуры. На твердой стенке выполняется условие прилипания и задана температура. С учетом сделанных допущений течение описывается уравнениями движения и энергии, которые являются обыкновенными дифференциальными уравнениями. Сформулированная задача решается численно с применением конечно-разностного подхода и метода прогонки для решения разностных уравнений. Для организации сквозного расчета потока без явного выделения зон квазитвердого движения, выполняется регуляризация реологического закона, которая позволяющая устранить его сингулярность в областях с нулевой скоростью сдвига. В области сдвигового течения значения вязкости, вычисленные с использованием исходной и регуляризированной моделей, практически не отличаются, в области ядра регуляризация обеспечивает большое, но конечное ее значение.

Структура рассматриваемого стационарного потока предполагает наличие в потоке квазитвердого ядра в окрестности оси симметрии и застойной зоны около стенки в зависимости от соотношения определяющих параметров, при этом энергия вязкой диссипации соответствует тепловому потоку на стенке. Выявлено три характерных режима течения. В первом режиме во всей области реализуется сдвиговое течение. Во втором режиме область можно разделить на квазитвердое ядро в окрестности оси симметрии и сдвиговое течение в остальной части. В области ядра диссипация отсутствует, а температура постоянна. Третий режим характеризуется формированием квазитвердого ядра и «застойной» зоны около стенки. Отмечено наличие критического значения перепада давления, выше которого реализация стационарного режима невозможна. Тепло, выделяющееся за счет вязкой диссипации, не успевает отводиться через стенку. Такое явление в литературе называют гидродинамическим тепловым взрывом. Продемонстрировано влияние зависимости реологических параметров от температуры на профили скорости и температуры, построены зависимости числа Нуссельта от параметра Бингама.

Исследование выполнено за счет гранта РФФ (проект № 18-19-00021).

Simulation of a steady flow of a viscoplastic fluid in a round pipe taking into account viscous dissipation

Borzenko E.I., Shrager G.R.
TSU, Tomsk, Russia

A steady one-dimensional flow of a non-Newtonian incompressible fluid in an axisymmetric pipe with a given constant flow rate is considered. Fluid rheology is described by the Bulkley-Herschel law with an exponential dependence of rheological parameters on temperature. On a solid wall, the no-slip condition is satisfied and the temperature is specified. Taking into account the assumptions made, the flow is described by the equations of motion and energy, which are ordinary differential equations. The formulated problem is solved numerically using the finite-difference approach and the sweep method for solving difference equations. To organize a through flow calculation without explicitly identifying zones of quasi-rigid motion, the rheological law is regularized, which allows eliminating its singularity in areas with zero shear rate. In the region of shear flow, the values of viscosity calculated using the original and regularized models practically do not differ; in the region of the kernel, regularization provides a large, but final value.

The structure of the considered stationary flow assumes the presence in the flow of a unyielded core in the vicinity of the symmetry axis and a "frozen" zone near the wall, depending on the ratio of the governing parameters, while the viscous dissipation energy corresponds to the heat flow on the wall. Three characteristic flow regimes have been identified. In the first regime, a shear flow is realized in the entire region. In the second regime, the region can be divided into a unyielded core in the vicinity of the axis of symmetry and shear flow in the rest. There is no dissipation in the core region, and the temperature is constant. The third mode is characterized by the formation of a unyielded core and a "frozen" zone near the wall. The presence of a critical value of the pressure drop, above which the implementation of the stationary regime is impossible, is noted. The heat released due to viscous dissipation has no time to be removed through the wall. This phenomenon is referred to in the literature as hydrodynamic thermal explosion. The influence of the dependence of rheological parameters on temperature on the velocity and temperature profiles is demonstrated, and the dependences of the Nusselt number on the Bingham parameter are constructed.

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 18-19-00021).

Моделирование течения крови в микронасосе для поддержки кровообращения

Боярский Г.Г., Хаустов А.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Целью работы является определение распределения скорости, давления и касательных напряжений в проточной части микронасоса (максимальный диаметр 7 мм), что позволяет оптимизировать размеры элементов проточной части насоса, чтобы минимизировать

гемолиз крови и тромбообразование при работе микронасоса при поддержке левого желудочка сердца, а также определение зависимостей напора и мощности от расхода микронасоса, что позволяет прогнозировать его работу на пульсирующих режимах.

Важнейшей особенностью моделирования течения крови в микронасосах является то, что размеры лопаток микронасоса (высота не более 2 мм), как основных элементов, которые оказывают силовое воздействие на кровь, соизмеримы с зазорами между лопатками и корпусом (от 0.15 до 0.75 мм), которые являются одними из концентраторов касательных напряжений и застойных зон, а значит, могут вызывать травму крови.

В работе кровь принималась как вязкая однородная жидкость с равномерным распределением скорости и давления на входе в микронасос, равным среднерасходной скорости крови за сердечный цикл и минимальному давлению в левом желудочке, соответственно.

По результатам моделирования течения крови проводилась оценка распределения скоростей, давлений, с выявлением областей с максимальными значениями касательных напряжений, что равнозначно оценке напряжений, действующих на эритроциты. Оптимизировались объемы и интенсивность застойных зон и областей вторичных течений, что давало оценку возможных тромбообразований в проточной части микронасоса.

В результате 3D моделирования течения крови через микронасос и оптимизации геометрических параметров разработан прототип микронасоса, который был изготовлен методом стереолитографии, испытан на гидродинамическом стенде. Сравнение экспериментальных и расчетных данных показало их хорошее совпадение, что позволяет перейти к следующему этапу внедрения микронасоса: его испытанию на гемодинамическом стенде.

Modeling blood flow in a micropump to support blood circulation

Boyarsky G.G., Khaustov A.I.

MAI, Moscow, Russia

The aim of work is to determine the distributions of velocity, pressure and shear stresses in the flow of the micro-pump (maximum diameter 7 mm), which allows to optimize pump dimensions to minimize hemolysis and thrombus formation of blood in micro-pump for the support of the left ventricle, and to determine the dependency of head and power from the flow rate of micro-pump that allows to predict its work on pulsating modes.

The most important feature of blood flow modeling in micro-pumps is that the dimensions of the micro-pump blades (height no more than 2 mm), as the main elements that exert a force effect on the blood, are commensurate with the gaps between the blades and the body (from 0.15 to 0.75 mm), which are one of the concentrators of shear stresses and stagnant zones, and therefore can cause blood injury.

In the study the blood was taken as a viscous homogeneous liquid with a uniform distribution of velocity and pressure at the inlet to the micro-pump, equal to the average blood flow rate per cardiac cycle and the minimum pressure in the left ventricle, respectively.

Based on the results of blood flow modeling, the distribution of velocities and pressures was evaluated, with the identification of areas with maximum values of shear stresses, which is equivalent to the assessment of stresses acting on red blood cells. The volume and intensity of stagnant zones and areas of secondary flows were optimized, which gave an assessment of possible blood clots in the flow part of the micro-pump.

As a result of 3D modeling of blood flow through the micro-pump and optimization of geometric parameters, a prototype of the micro-pump was designed, which was manufactured by stereolithographic and tested on a hydrodynamic loop. Comparison of experimental and calculated data showed a good match, which allows us to proceed to the next stage of implementation of the micro-pump: its testing on a hemodynamic stand.

Инструменты интеллектуальной поддержки проектных решений на основе анализа неопределенных факторов разной природы

¹Булыгина О.В., ²Иванова О.А.

¹Филиал НИУ «МЭИ», г. Смоленск, Россия

²ПушГЕНИ, г. Пушкино, Россия

Сегодня управление сложными наукоемкими проектами осуществляется в условиях информационной неопределенности, что обусловлено недостатком «качественных» (полных, точных, непротиворечивых и т.п.) данных об их участниках и внешнем окружении. В этой ситуации для поддержки принятия проектных решений целесообразно воспользоваться подходом, основанном на идентификации и оценке НЕ-факторов (т.е. факторов, имеющих в естественном языке негативную оценку и отрицающих одно из базовых свойств формальных систем [1]). Для данной предметной области в качестве НЕ-факторов будут выступать факторы внутренней и внешней среды, которые могут приводить к снижению эффективности реализации проекта (т.е. источники проектных рисков).

На текущий момент существует несколько подходов к определению НЕ-факторов [2], однако для задач проектного управления целесообразно рассматривать информационные НЕ-факторы (в частности, неполнота, неточность, недоопределенность, нечеткость, противоречивость).

Авторами предложена обобщенная процедура анализа НЕ-факторов, используемая для поддержки принятия решению по управлению сложными наукоемкими проектами:

1. Выявление набора факторов внутренней и внешней среды, которые могут каким-либо образом повлиять на реализацию проекта.

2. Идентификация НЕ-факторов, заключающаяся в их распределении на заранее выделенные классы с помощью нейро-нечеткого классификатора.

3. Анализ системного эффекта от проявления выявленной совокупности НЕ-факторов, выполняемый с использованием коэффициента эмерджентности.

4. Оценка НЕ-факторов внутренней среды, направленная на получении количественной оценки некоторого проектного риска с помощью нечетких пирамидальных сетей [3].

5. Оценка НЕ-факторов внешнего окружения, выполняемая аналогичным образом, но отличающаяся учетом прогноза динамики их влияния на проект.

6. Комплексирование результатов оценки НЕ-факторов, т.е. обобщенная оценка рисков внутренней/внешней среды проекта, выполняемая с использованием нечетко-логического вывода по алгоритму Ларсена.

7. Агрегирование результатов, полученных для внутренней и внешней среды проекта (с помощью нечетко-логического вывода по алгоритму Ларсена).

8. Принятие управленческого решения о жизнеспособности проекта.

Как представляется, предложенный подход к анализу жизнеспособности сложных наукоемких проектов, основанный на идентификации и оценке информационных НЕ-факторов, позволит своевременно выявлять рискованные ситуации, которые могут крайне негативно отразиться на проектных результатах.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-1534.2020.9 «Методы моделирования сложных систем с использованием нечетко-сетевых алгоритмов и роевого интеллекта».

Литература:

1. Нариньяни А.С. НЕ-факторы: краткое введение // Новости искусственного интеллекта.– 2004.–№2.–С.52-63.

2. Батыршин И.З., Недосекин А.О., Стецко А.А., Тарасов В.Б., Язенин А.В., Ярушкіна Н.Г. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.

3. Булыгина О.В., Емельянов А.А., Емельянова Н.З., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении / Под ред. А.А. Емельянова. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2018.

Tools for intellectual support of project decisions based on analyzing uncertain factors of a different nature

¹Bulygina O.V., ²Ivanova O.A.

¹Branch of NRU "MPEI" Smolensk, Russia

²PushGENI, Pushchino, Russia

Today, managing complex science-intensive projects is carried out in conditions of information uncertainty, which is due to the lack of "quality" (complete, accurate, consistent, etc.) data about their participants and external environment. In this situation, to support decision-making, it is advisable to use an approach based on the identification and assessment of NON-factors (i.e., factors that have a negative assessment in natural language and deny one of the basic properties of formal systems [1]). For this subject area, the factors of the internal and external environment that can lead to a decrease in the project efficiency (i.e. sources of project risks) will act as NON-factors.

At the moment, there are several approaches to the NON-factors definition [2]. However, for project tasks, it is advisable to consider informational NON-factors (in particular, incompleteness, inaccuracy, underdetermination, fuzziness, inconsistency).

The authors proposed a generalized procedure for analyzing NON-factors, used to support decision-making on the projects management:

1. Detection of a set of internal and external environmental factors that can affect the project implementation in any way.

2. Identification of NON-factors, which consists in their distribution into pre-selected classes using a neural fuzzy classifier.

3. Analysis of the systemic effect from the manifestation of the identified set of NON-factors using the emergence coefficient.

4. Assessment of NON-factors of the internal environment, aimed at obtaining a quantitative assessment of some project risk using fuzzy pyramidal networks [3].

5. Assessment of NON-factors of the external environment, carried out in a similar way, but differing in the forecast of the dynamics of their influence on the project.

6. Integration of the results of NON-factors assessment, i.e. generalized assessment of risks of the internal/external environment, carried out using fuzzy inference according to the Larsen algorithm.

7. Aggregation of the results obtained for the internal and external environment using fuzzy inference according to Larsen algorithm.

8. Making a management decision on the project viability.

It seems that the proposed approach to the analysis of the viability of complex science-intensive projects, based on the identification and assessment of informational NON-factors, will allow timely definition of risk situations that can have an extremely negative impact on the project results.

This work was supported by a grant of the President of the Russian Federation for the state support of young Russian scientists – candidates of Sciences (MK-1534.2020.9 «Methods for modeling complex systems using fuzzy network algorithms and swarm intelligence»).

References:

1. Narinyani A.S. NON-factors: a brief introduction. Artificial intelligence news, 2004, no.2, pp.52-63.

2. Batyrshin I.Z., Nedosekin A.O., Stetsko A.A., Tarasov V.B., Yazenin A.V., Yarushkina N.G. Fuzzy hybrid systems. Theory and practice. Moscow, FIZMATLIT, 2007.

3. Bulygina O.V., Emelyanov A.A., Emelyanova N.Z., Kukushkin A.A. System analysis in management/edited by A.A. Emelyanov. Moscow, FORUM: INFRA-M Publ., 2018.

Комплексирование параметров многомерных случайных процессов

Бумай А.Ю.

БНТУ МИДЮ, г. Минск, Беларусь

При обработке информации возникает множество задач, в том числе и оценивание оптимальных многомерных параметров. Одной из систем оценивания является

навигационное оборудование, устанавливаемое на движущихся объектах (ДО). В настоящее время особую популярность среди ДО имеют беспилотные летательные аппараты (БЛА), особенностью которых является наличие множества устройств и систем для измерения навигационных параметров полета. Необходимо отметить, что процесс оценивания навигационной информации должен происходить вне зависимости от природы источников, их точности, достоверности и наличия некоторой степени неопределенности. Для оптимального оценивания такой информации и выделения полезной составляющей предлагается использовать метод комплексирования совместно с критерием максимального апостериорного правдоподобия (МАП).

Представлена задача оценивания вероятностных характеристик многомерного случайного процесса при помощи многомерного измерителя. Рассматривается модель нелинейной динамической нестационарной системы подверженной действию сторонних возмущений, которая в следствии добавления формирующего фильтра преобразуется в математическое представление векторного Марковского процесса, эволюцию которого возможно анализировать с помощью уравнения Фокера-Планка-Колмогорова. Применена двух моментная гауссова аппроксимация и линеаризация уравнения процесса системы для упрощения задачи. Использована полная вероятностная характеристика процесса для описания эволюции системы в виде уравнения Кушнера-Стратоновича. Рассмотрена практическая возможность применения в задачах фильтрации путем вычисления интеграла оптимальной оценки применяя субоптимальные алгоритмы и максимум апостериорной вероятности (МАВ) как заданного критерия оптимальности, вследствие чего получено уравнение классического фильтра Калмана-Бьюси.

При рассмотрении задачи комплексирования проанализирована формула Байеса, критерии оптимальности МАВ, максимум правдоподобия (МП) и фильтр Калмана. Предложен критерий оптимальности – максимального апостериорного правдоподобия (МАП) который предполагает более высокую точность апостериорного оценивания. Более детально данная задача рассмотрена в статье Лобатый А.А. и Бумай А.Ю. «Особенности построения алгоритмов оценивания параметров многомерных случайных процессов».

Complexing of parameters of multidimensional random processes

Bumai A.Y.

BNTU IIIDE, Minsk, Belarus

While processing information, many problems arise, including the estimation of optimal multidimensional parameters. One of the assessment systems is navigation equipment installed on moving objects (MO). Currently, unmanned aerial vehicles (UAVs) are especially popular among MOs, which particularity is installed devices and systems for measuring flight navigation parameters. It should be noted that the process of evaluating navigation information should occur regardless of the nature of the sources, their accuracy, reliability and the presence of some degree of uncertainty. It is proposed to use the integration method together with the criterion of maximum a posteriori likelihood (MAL) for optimal estimation of the information and the selection of a useful component.

The problem of estimating the probabilistic characteristics of a multidimensional random process using a multidimensional meter is presented. A model of a nonlinear dynamic non-stationary system subject to the action of external disturbances is considered, which, as a result of adding a forming filter, is transformed into a mathematical representation of the vector Markov process, the evolution of which can be analyzed using the Foker-Planck-Kolmogorov equation. Two moment Gaussian approximation and linearization of the system process equation are applied to simplify the problem. The full probabilistic characteristic of the process is used to describe the evolution of the system in the form of the Kushner-Stratonovich equation. The practical possibility of application in filtering problems by calculating the integral of the optimal estimate using suboptimal algorithms and the maximum a posteriori probability (MAP) as a given optimality criterion is considered, as a result the equation of the classical Kalman-Bucy filter is derived.

It is considered the integration problem, Bayes' formula, MAV optimality criteria, maximum likelihood (MP) and Kalman filter were analyzed. An optimality criterion is proposed - the maximum a posteriori plausibility (MPP), which assumes a higher accuracy of the a posteriori estimation. This problem is considered in more detail in the article by A.A. Lobaty. and Bumay A.Y. "Features of the construction of estimation algorithms parameters of multidimensional random processes".

Модернизация алгоритма численного моделирования характеристик поверхности

Быков Л.В., Голиков Н.С., Ежов А.Д., Талалаева П.И., Сладков И.С.

МАИ, г. Москва, Россия

На современном этапе развития технологий проектирование сложных технических систем неразрывно связано с математическим моделированием, как характеристик самого объекта, так и его поведением в штатных условиях эксплуатации. Задача прогнозирования поведения контактных пар механизмов при тепловом и деформирующем нагружении не теряет своей актуальности, но ее решение может быть значительно облегчено с помощью модернизированного алгоритма обработки данных микрошероховатости контактирующих поверхностей.

В данной работе представлена модернизация применяемого ранее алгоритма численного моделирования поверхности с учётом её микронеровностей.

Исходный алгоритм фильтрации исходных данных работал по принципу разделения всего профиля средней линией на чередующиеся участки выступов и впадин. Ключевыми точками считались точки максимумов всех выступов и минимумы соответствующих впадин. Такой механизм обработки значительно снижал объем математической модели и уменьшал время её обработки, но практика показала, что для некоторых материалов такое сжатие данных оказывалось чрезмерным, что приводило к частичной потере эквивалентности модели.

Предлагаемый алгоритм основан на выборе точек локальных экстремумов, играющих ключевую роль для описания контакта композиционных материалов. При этом метод локальных экстремумов может быть успешно применен и для других материалов контактирующих поверхностей.

Метод локальных экстремумов дополняется новым алгоритмом просеивания (т.е. выборки точек массива для обработки), который позволяет регулировать необходимую точность цифрового двойника контакта. Данный параметр задается в зависимости от доступной вычислительной мощности и необходимой точности. Принцип выборки состоит в отбрасывании точек, находящихся в диапазоне $\pm\delta$ от линии, проведенной между максимумом и минимумом соседних выступа и впадины. Величина δ привязывается к величине R_a , характеризующей шероховатость рассматриваемой поверхности. Изменяя величину δ можно задавать необходимую точность моделирования поверхности с учетом имеющихся вычислительных ресурсов.

Получаемое в результате просеивания облако точек позволяет построить с заданной точностью цифровой двойник контакта, эквивалентный рассматриваемому физическому контакту.

Improving the numerical algorithm modeling surface characteristics

Bykov L.V., Golikov N.S., Ezhov A.D., Talalaeva P.I., Sladkov I.S.

MAI, Moscow, Russia

At the present stage of technology development, the design of complex technical systems is inextricably linked with mathematical modeling, both of the characteristics of the object itself and its behavior under normal operating conditions. The problem of predicting the behavior of contact pairs of mechanisms under thermal and deforming loading does not lose its relevance, but its solution can be significantly facilitated using a modernized algorithm for processing data on the microroughness of contacting surfaces.

This paper presents the modernization of the previously used algorithm for numerical modeling of the surface, taking into account its microroughness.

The original filtering algorithm for the initial data worked on the principle of dividing the entire profile by the middle line into alternating sections of projections and depressions. The key points were considered to be the maximum points of all peaks and the minimums of the corresponding troughs. Such a processing mechanism significantly reduced the size of the mathematical model and reduced its processing time, but practice has shown that for some materials such data compression turned out to be excessive, which led to a partial loss of model equivalence.

The proposed algorithm is based on the choice of points of local extrema, which play a key role in describing the contact of composite materials. Moreover, the method of local extrema can be successfully applied to other materials of contacting surfaces.

The method of local extrema is complemented by a new sieving algorithm (i.e., sampling array points for processing), which allows you to adjust the required accuracy of the digital twin of the contact. This parameter is set depending on the available computing power and the required accuracy. The sampling principle consists in discarding points that are in the range of $\pm \delta$ from the line drawn between the maximum and minimum of the adjacent peaks and valleys. The δ value is linked to the Ra value, which characterizes the roughness of the surface under consideration. By changing the value of δ , you can set the required accuracy of surface modeling, taking into account the available computing resources.

The point cloud obtained as a result of sifting makes it possible to construct, with a given accuracy, a digital twin of the contact, equivalent to the physical contact under consideration.

Прогнозирование звукового удара в дальнем поле для сверхзвуковых транспортных средств с использованием свободного программного обеспечения

¹Ватутин К.А., ²Епихин А.С., ¹Крапошин М.В.

¹ИСП РАН, ²МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

В работе представлена реализация метода прогнозирования звуковой волны в дальнем поле с применением функции Уизема с использованием свободно-распространяемого пакета с открытым исходным кодом OpenFOAM. Вначале определяются параметры течения в ближнем поле, по которым строится эквивалентное тело вращения. По распределению производной площадей поперечных сечений вычисляется функция Уизема. Затем находятся коэффициенты затухания и интенсивность звукового удара на местности. Функция Уизема, пропорциональная избыточному давлению эпоры звуковой волны и вычисляется по площади поперечных сечений эквивалентного тела вращения. Изменение расстояния между телом и горизонтальной плоскостью сечения эквивалентного тела слабо влияет на максимальное значение избыточного давления, но заметно влияет на минимальное значение избыточное давление на волне разрежения. Расчеты показывают, что плоскость интегрирования надо выбирать на расстоянии приблизительно 0,4 L. После приведения функция Уизема к безразмерному виду при постоянном угле атаки зависимость избыточного давления пропорциональна значению функции. Для вычисления избыточного давления в любой другой момент времени в теории звукового удара используется закон затухания возмущений, известный из геометрической акустики.

В качестве примера рассмотрено обтекания модели летательного аппарата с треугольным крылом 69 градусов стреловидности. Для определения параметров течения в ближнем поле использовался конечно объёмный метод решения регуляризованных (квазигазодинамических) уравнений. Регуляризованные уравнения газодинамики являются аналогом уравнений Навье-Стокса. Численный алгоритм реализован в решателе QGDFoam на базе пакета OpenFOAM.

Far-field sonic boom prediction for supersonic vehicles using free software

¹Vatutin K.A., ²Epikhin A.S., ¹Kraposhin M.V.

¹ISP RAN, ²BMSTU, Moscow, Russia

The paper presents an implementation of the method for predicting a sound wave in the far field using the Whitham function. First, the parameters of the near-field flow are determined, along which an equivalent body is constructed. The Whitham function is calculated from the distribution of the derivative of the cross-sectional areas of the equivalent body. Then the attenuation

coefficients and the intensity of the sonic boom on the ground are found. Whitham's function, which is proportional to the overpressure of the sound wave diagram and is calculated from the cross-sectional area of an equivalent body of revolution. A change in the distance between the body and the horizontal plane of the section of the equivalent body has little effect on the maximum value of the overpressure, but noticeably affects the minimum value of the overpressure on the rarefaction wave. Calculations show that the plane of integration should be chosen at a distance of approximately 0.4 L from body. After bringing the Whitham function to dimensionless form at a constant angle of attack, the dependence of the excess pressure is proportional to the value of the function. To calculate the excess pressure at any other time in the theory of sonic boom, the law of attenuation of perturbations is used, which is known from geometric acoustics.

As an example, the flow around a model of an aircraft with 69 degrees of sweep delta wing is considered. To determine the flow parameters in the near field, a finite-volume method for solving regularized equations was used. The regularized equations of gas dynamics are analogous to the Navier-Stokes equations. The numerical algorithm is implemented in the QGDFoam solver based on the OpenFOAM package.

Линейный анализ устойчивости центральной конфигурации в ограниченной круговой задаче четырех тел

Волков Е.В., Бардин Б.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается движение тела пренебрежимо малой массы в гравитационном поле трех притягивающих центров, взаимодействующих по закону всемирного тяготения и движущихся по круговым орбитам, образуя постоянную лагранжеву конфигурацию. Предполагается, что лагранжева конфигурация устойчива и все четыре тела движутся в одной плоскости. Уравнения движения малого тела допускают частные решения, описывающие его положения относительного равновесия во вращающейся вместе с притягивающими центрами системе координат. В положении относительного равновесия тело малой массы образует с притягивающими центрами конфигурацию неизменной формы и размеров, так называемую центральную конфигурацию. В настоящей работе исследуется вопрос о бифуркации и устойчивости центральных конфигураций.

Было установлено, что бифуркация центральных конфигураций происходит по следующему сценарию: при обращении в ноль массы одного из притягивающих центров четыре из восьми центральных конфигураций переходят треугольную точку либрации. Поскольку притягивающие центры образуют устойчивую лагранжеву конфигурацию, то задача об устойчивости центральных конфигураций сводится к исследованию устойчивости соответствующих положений относительного равновесия тела малой массы. Для решения этой задачи при всех возможных значениях параметров был проведен анализ корней характеристического уравнения линеаризованной в окрестности положений относительного равновесия системы. В результате были получены выводы об устойчивости центральных конфигураций. В двумерном пространстве параметров задачи были построены диаграммы устойчивости, на которых указаны области неустойчивости и области устойчивости в линейном приближении. Полученные выводы об устойчивости хорошо согласуются с известными результатами для случая равных масс двух притягивающих центров [1, 2, 3].

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-11-00116).

Литература:

1. Брумберг В.А., Постоянные конфигурации в проблеме четырех тел и их устойчивость. *Астрономический журнал*, Т.34, №1, 1957. С.55–74.
2. Bardin B.S., Esipov P.A., Investigation of Lyapunov stability of a central configuration in the restricted four-body problem. *AIP Conference Proceedings*, 2018.

3. Bardin B.S., Volkov E.V., Stability Study of a Relative Equilibrium in the Planar Circular Restricted Four-Body Problem. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 927, 2020.

Linear Stability Analysis of a Central Configuration in the Restricted Circular Four-Body Problem

Volkov E.V., Bardin B.S.
MAI, Moscow, Russia

The motion of a body of negligible mass in the gravitational field of three attracting centers interacting according to the law of universal gravitation and moving in circular orbits, forming a constant Lagrangian configuration, is considered. It is assumed that the configuration is stable and all four bodies move in the same plane. The equations of motion of a small body allow particular solutions describing its position a relative equilibrium in the rotating coordinate system together with the attracting centers. In this position, a body of low mass forms a configuration with attracting centers of constant shape and size, the so-called central configuration. In this paper, we study the question of bifurcation and stability of central configurations.

It was found that the bifurcation of central configurations occurs according to the following scenario: when the mass of one of the attracting centers turns to zero, four of the eight central configurations pass the triangular libration point. Since the attracting centers form a stable Lagrangian configuration, the problem of the stability of central configurations is reduced to studying the stability of the corresponding positions of relative equilibrium of a body of small mass. To solve this problem for all possible values of the parameters, the roots of the characteristic equation of the linearized system in the vicinity of the relative equilibrium positions were analyzed. As a result, conclusions were obtained about the stability of central configurations. Stability diagrams of the instability and stability regions were constructed in the two-dimensional space of the problem parameters. The obtained conclusions about stability are in good agreement with the known results for the case of equal masses of two attracting centers [1, 2, 3].

This work was supported by the grant of the Russian Scientific Foundation (project No. 19-11-00116) at the Moscow Aviation Institute (National Research University).

References:

1. Brumberg V.A., Permanent configurations in the problem of four bodies and their stability. Astronomy journal, V.34, No.1, 1957. p.55–74.

2. Bardin B.S., Esipov P.A., Investigation of Lyapunov stability of a central configuration in the restricted four-body problem. AIP Conference Proceedings, 2018.

3. Bardin B.S., Volkov E.V., Stability Study of a Relative Equilibrium in the Planar Circular Restricted Four-Body Problem. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 927, 2020.

Математическое моделирование течения горючей смеси за отраженной ударной волной

Гидаспов В.Ю.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваемое течение горючей метано-воздушной смеси в ударной трубе за отраженной ударной волной моделируется в одномерной и двумерной нестационарной невязкой постановке. Используются сеточно-характеристический метод с явным выделением отраженной ударной волны и метод Годунова [1]. Для моделирования химических превращений использовался упрощенный кинетический механизм горения метана в воздухе, включающий 4 обратимых стадии, проведено сравнение рассчитанного времени самовоспламенения горючей смеси с экспериментальными данными и расчетами других авторов. Расчетным путем за отраженной ударной волной получена следующая картина течения. Горючая смесь воспламенялась у торца ударной трубы, возникала волна сжатия, которая догоняла отраженную ударную волну и ускоряла её. В результате образовывалась перешагнутая детонационная волна. При числах Маха падающей ударной волны более четырех детонационная волна (в стехиометрической смеси) распространялась в перешагнутом режиме с

практически постоянной скоростью. При меньших числах Маха на некотором расстоянии от стенки детонационная волна теряла устойчивость и распространялась в колебательном режиме, причем мгновенная скорость волны была как выше, так и ниже скорости Чепмена-Жуге. Колебания скорости ударной волны приводили к зоне переменной энтропии и существенной неоднородности потока за детонационной волной. Необходимо отметить, что во всех рассмотренных вариантах колебания носили устойчивый характер, и их амплитуда не увеличивалась, а также, что для каждого рассмотренного состава смеси и начальных параметров существовало число Маха падающей ударной волны, при котором колебания не наблюдались.

В результате численного моделирования получено, что параметры детонационной волны при отсутствии колебаний и в среднем при их наличии с высокой степенью точности соответствуют параметрам пересжатой детонационной волны, полученным из решения задачи о равновесной отраженной детонационной волне [2], которые заметно отличаются от параметров детонации Чепмена-Жуге.

Работа выполнена по Государственному заданию № FSFF-2020-0013.

1. В.Ю. Гидаспов, Н.С.Северина. Некоторые задачи физической газовой динамики. М.: Изд-во МАИ, 2016.-196 с.

2. В.Ю. Гидаспов. Распад разрыва в детонирующем газе. Вестник Московского авиационного института, 2010. Т. 17. № 6. с. 72-79.

Mathematical modeling of the flow of a combustible mixture behind a reflected shock wave

Gidaspov V.Y.

MAI, Moscow, Russia

The considered flow of a combustible methane-air mixture in a shock tube behind a reflected shock wave is modeled in a one-dimensional and two-dimensional non-stationary inviscid formulation. The grid-characteristic method with explicit selection of the reflected shock wave and the Godunov method are used [1]. A simplified kinetic mechanism of methane combustion in air, including 4 reversible stages, was used to model chemical transformations. The calculated ignition delay time of the fuel mixture was compared with experimental data and calculations by other authors. The following flow pattern is obtained by calculating the reflected shock wave. The combustible mixture ignited at the end of the shock tube, creating a compression wave that caught up with the reflected shock wave and accelerated it. As a result, an overcompressed detonation wave was formed. When the Mach numbers of the incident shock wave are more than four, the detonation wave (in a stoichiometric mixture) propagates in a recompressed mode with an almost constant velocity. At lower Mach numbers at a certain distance from the wall, the detonation wave lost stability and propagated in an oscillatory mode, with the instantaneous velocity of the wave being both higher and lower than the Chapman-Jouget velocity. Fluctuations in the shock wave velocity led to a zone of variable entropy and significant inhomogeneity of the flow behind the detonation wave. It should be noted that in all the considered variants, the oscillations were stable and their amplitude did not increase, and also that for each considered mixture composition and initial parameters, there was a Mach number of the incident shock wave at which no oscillations were observed.

As a result of numerical simulation, the parameters of the detonation wave in the absence of vibrations and on average in their presence correspond with a high degree of accuracy to the parameters of the overcompressed detonation wave obtained from the solution of the problem of the equilibrium reflected detonation wave [2], which differ markedly from the parameters of the Chapman-Jouguet detonation.

The work was performed according to the state task no. FSFF-2020-0013.

1. V.Yu.Gidaspov, N. S. Severina. Some problems of physical gas dynamics. Moscow: MAI publishing house, 2016.-196 p.

2. V.Yu. Gidaspov. Breakdown of a gap in a detonating gas. Bulletin of the Moscow aviation Institute, 2010, vol. 17, no. 6, pp. 72-79.

Оценка фиторемедиации рекультивируемых полигонов на основе параметров математического моделирования

Голенко М.Г., Макарова А.С., Матасов А.В., Челноков В.В.
РХТУ, г. Москва, Россия

При ограниченности получения экспериментальных данных рекультивируемых систем для решения многопараметрических задач, особую важность приобретает разработка адекватной математической модели химико-микробиологических процессов, протекающих в системах «почва-растение» с учетом комплексных воздействий на эффективные показатели фиторемедиации.

Решение данных задач ограничивается набором натуральных данных, полученных только в лабораторных условиях. Кроме того, затраты на организацию проведения подобных экспериментов достаточно высоки [2]. Актуальной является задача создания модели, учитывающей доступный набор параметров фиторемедиации. Предлагается математическая модель с доступно определяемыми параметрами совместной динамики биомассы растения и содержания тяжелых металлов в его тканях и оценка коэффициентов и адекватности моделей.

Удельный прирост биомассы растения в единицу времени определяется ее естественным приростом в данных условиях и текущим содержанием в ризосфере элементов питания растения (в том числе, загрязняющих почву компонентов, а также стимулирующих обмен и рост вносимых веществ, далее (биогенных) компонентов питания растений в почве).

Удельный прирост содержаний i -того из компонентов питания в растении пропорционален их текущим содержаниям в ризосфере (допускается взаимное влияние на этот прирост остальных компонентов).

Описание процесса математической модели соответствует сроку вегетационного периода растения.

Assessment of phytoremediation at reclaimed landfills based on mathematical modeling parameters

Golenko M.G., Makarova A.S., Matasov A.V., Chelnokov V.V.
MUCTR, Moscow, Russia

Given the limited availability of experimental data on recultivated systems for solving multiparametric problems, it is particularly important to develop an adequate mathematical model of chemical and microbiological processes occurring in soil-plant systems, taking into account complex effects on effective phytoremediation indicators.

The solution of these problems is limited to a set of full-scale data obtained only in the laboratory. In addition, the costs of organizing such experiments are quite high [2]. The actual task is to create a model that takes into account the available set of phytoremediation parameters. A mathematical model with easily determined parameters of the joint dynamics of plant biomass and the content of heavy metals in its tissues is proposed, and the coefficients and adequacy of the models are evaluated.

The specific biomass of a plant per unit of time is determined by its natural increase in these conditions and the current contents in the rhizosphere of elements of power plants (including polluting soil components, as well as encouraging exchange and growth of introduced substances, then (biogenic) components of plant nutrition in the soil).

The specific increase in the content of the i -th of the nutrition components in the plant is proportional to their current content in the rhizosphere (the mutual influence of other components on this increase is allowed).

The description of the mathematical model process corresponds to the vegetation period of the plant.

Применение нейронных сетей для вычисления релаксационных членов в задаче моделировании кинетики углекислого газа

Гориховский В.И., Косарева А.А., Кустова Е.В.
СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Моделирование неравновесной кинетики углекислого газа – одна из самых вычислительно сложных задач в современной физической механике. Такое моделирование имеет множество применений в различных исследовательских дисциплинах, включая моделирование спуска космических аппаратов, входящих в атмосферу Венеры и Марса, химию плазмы, лазерные технологии. В течение последних десятилетий неравновесная физико-химическая кинетика в потоках газовых смесей, содержащих углекислый газ, изучалась с использованием строгого поуровневого описания колебательной и химической релаксации. Это подход является наиболее строгим, но он чрезвычайно затратен в вычислительном отношении, поскольку требует решения жесткой системы, содержащей более 6000 уравнений для заселенностей уровней. В ряде ситуаций переход от поуровневой модели к многотемпературной позволяет значительно сократить размер решаемой системы, без потери точности моделирования. Однако, для решения такой системы на каждом шаге расчетной схемы необходимо производить вычисление релаксационных членов, включающее расчет миллионов коэффициентов скорости переходов энергии для каждого уравнения. В настоящем исследовании рассматривается возможность применение нейронных исследований для аппроксимации релаксационных членов. В данной работе обучение нейронной сети осуществляется на основе данных коэффициентов скорости переходов энергии, рассчитанных с использованием SSH-теории для модели гармонического осциллятора. В работе исследуется эффективность и точность использования предложенной нейронной сети для аппроксимации релаксационных членов.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект 19-11-00041).

Application of neural networks for calculation of relaxation terms in the modelling of the CO₂ kinetics

Gorikhovskii V.I., Kosareva A.A., Kustova E.V.
SPSU, Saint-Petersburg, Russia

Modeling of nonequilibrium kinetics in carbon dioxide is one of the most challenging and computationally complex problems in modern physical mechanics. Such modeling has many applications in various research disciplines, including simulations of space vehicles entering the atmosphere of Venus and Mars, plasma chemistry, laser technologies. Nonequilibrium physico-chemical kinetics in the flows of gas mixtures containing carbon dioxide was studied using a rigorous state-to-state description of vibrational and chemical relaxation, as well as multi-temperature and single-temperature approaches during the last decades. This is the most rigorous approach, but it extremely computationally expensive because it requires solving a stiff system containing more than 6000 equations for level populations. To solve such a system, at each step of the computational scheme, it is necessary to calculate relaxation terms. It contains evaluation of thousands rate coefficients for each equation. To efficiently calculate relaxation terms, it is necessary to apply modern methods. In this study, we examine the applicability and efficiency of convolutional neural networks for approximating relaxation terms. According to the Universal Approximation Theorem, convolutional neural networks can approximate functions with any given accuracy. However, such calculations may require a huge training set and a wide network topology, which will entail low efficiency. In the present work, a neural network is trained based on data of reaction rate coefficients calculated using the SSH-theory. We study the efficiency and accuracy of the proposed network for “cut” state-to-state and full state-to-state approaches. We also investigated the possibility of training a neural network in a limited amount of data, such as a small experimental sample.

This work was supported by Russian Science Foundation (project 19-11-00041).

Математические методы оптимального синтеза физико-механической структуры композитов с требуемым комплексом свойств в экстремальных условиях

¹Гусев Е.Л., ²Бакулин В.Н.
¹ИПНГ СО РАН, г. Якутск, Россия
²МАИ, г. Москва, Россия

Исследования предельных возможностей композитов необходимо связаны с разработкой эффективных методов поиска глобального экстремума соответствующих функционалов в вариационных постановках задач синтеза. В статье проведено исследование задач численного анализа и оптимального проектирования структуры композитов с требуемым и регулируемым комплексом свойств в экстремальных условиях, при воздействии экстремальных факторов внешней среды. Разрабатываемые и исследуемые математические модели описывают распространение волновых процессов различной физической природы в слоисто-неоднородной структуре композита. Задачи оптимального синтеза геометрической и физико-механической структуры композитов с требуемым комплексом свойств сформулированы в вариационной постановке. Разработана методика исследования предельных возможностей, композитов по достижению требуемого комплекса свойств в экстремальных условиях, основанная на теории многозначных отображений и методах продолжения по параметру. Разработанная методика исследования предельных возможностей позволяет осуществлять эффективное конструирование слоисто-неоднородных композитов со сложными характеристиками при воздействии экстремальных факторов внешней среды. Рассмотрено применение разработанной методики оптимального синтеза, основанной на теории многозначных отображений и продолжении решения по параметру, для исследования предельных возможностей слоисто-неоднородного композиционного покрытия при волновых воздействиях.

Mathematical methods for optimal synthesis of the physical and mechanical structure of composites with the required set of properties under extreme conditions

¹Gusev E.L., ²Bakulin V.N.
¹IPNG SO RAN, Yakutsk, Russia
²MAI, Moscow, Russia

Studies of the limiting capabilities of composites are necessarily related to the development of effective methods for finding the global extremum of the corresponding functionals in variational formulations of synthesis problems. The article deals with the problems of numerical analysis and optimal design of the structure of composites with the required and regulated set of properties under extreme conditions, under the influence of extreme environmental factors. The developed and investigated mathematical models describe the propagation of wave processes of various physical nature in the layered-inhomogeneous structure of the composite. The problems of optimal synthesis of the geometric and physical-mechanical structure of composites with the required set of properties are formulated in the variational formulation. A method is developed for studying the limiting capabilities of composites to achieve the required set of properties under extreme conditions, based on the theory of multi-valued mappings and methods of parameter continuation. The developed method for studying the limit capabilities allows for effective construction of layered-inhomogeneous composites with complex characteristics under the influence of extreme environmental factors. The application of the developed method of optimal synthesis, based on the theory of multi-valued selections and the continuation of the solution by parameter, is considered for the study of the limiting capabilities of a layered-inhomogeneous composite coating under wave effects.

Разработка стенда цифрового двойника летательного аппарата

Денисихин С.В.

Siemens Digital Industries Software, г. Москва, Россия

Дальнейшим развитием численного моделирования поведения летательного аппарата, или любого другого изделия, является создание его валидированной расчетной модели. Если такая модель позволяет описывать все ключевые процессы рассматриваемого объекта, с

учетом возможных внешних и внутренних воздействий, то ее, с определенными допущениями, можно назвать цифровым двойником изделия.

Одним из возможных вариантов создания цифрового двойника является применение подхода прогнозной аналитики (Predictive Engineering Analytics – PEA), базирующегося на интеграции виртуального и натурального эксперимента, разработке математических моделей на всех стадиях разработки, актуализации и синхронизации моделей, сборе и анализе данных.

В данной работе был реализован стенд, основанный на подходах PEA и позволяющий, в перспективе, реализовать цифровой прототип летательного аппарата.

В соответствии с выбранным подходом, на начальном этапе было проведено комплексирование систем и построение системных моделей изделия в сборе. Это позволило уже на начальном этапе выбрать наиболее перспективные конфигурации и удостовериться в достижимости предъявляемых к изделию требований.

Следующий этап – создание конструкторской модели. При реализации данного этапа, в соответствии с подходом PEA, параллельно создавались актуализируемые расчетные модели, позволявшие проводить необходимые расчеты в темпе разработки. Расчетные модели строились таким образом, чтобы минимизировать (в идеале исключить) необходимость их перестроения при внесении изменений в конструкцию. При этом проведение расчетов ответственных узлов в случае внесения изменений в конструкцию все же необходимо.

Третьим этапом реализации подхода являлось подтверждение соответствия расчетных моделей и натуральных образцов с проведением корреляционного анализа. То есть проводилась валидация расчетных моделей.

В результате удалось построить стенд, позволяющий реализовать основные принципы подхода PEA для модели летательного аппарата.

Development of a stand for a digital twin of an aircraft

Denisikhin S.V.

Siemens Digital Industries Software, Moscow, Russia

Further development of the numerical simulation of the behavior of an aircraft, or any other object, is the creation of its validated computational model. If such a model allows one to describe all the key processes of the object under consideration, taking into account possible external and internal influences, then it, with certain assumptions, can be called the digital twin.

One of the possible options for creating a digital twin is the use of a predictive analytics approach (Predictive Engineering Analytics – PEA), based on the integration of virtual and natural experiments, the development of mathematical models at all stages of development, updating and synchronizing models, collecting and analyzing data.

In this work, a stand was implemented based on the PEA approaches and allows, in the future, to implement a digital prototype of an aircraft.

In accordance with the chosen approach, at the initial stage, the systems were integrated and the system models of the assembled product were built. This allowed already at the initial stage to choose the most promising configurations and make sure that the requirements for the product are achievable.

The next step is to create a design model. When implementing this stage, in accordance with the PEA approach, updated computational models were created in parallel, which made it possible to carry out the necessary calculations at the pace of development. The design models were built in such a way as to minimize (ideally eliminate) the need to rebuild them when making changes to the design. At the same time, it is still necessary to carry out calculations of critical units in the event of changes in the design.

The third stage in the implementation of the approach was to confirm the conformity of the calculated models and testing with a correlation analysis. That is, the calculation models were validated.

As a result, it was possible to prepare a stand that allows implementing the basic principles of the PEA approach for an aircraft model.

Численное моделирование затекания сильно недорасширенных струй на преграду

Епихин А.С.

ИСП РАН, г. Москва, Россия

Интерес к исследованию истечения газа в вакуум обусловлен широким спектром научных и практических приложений. Например, при проектировании ракетно-космической техники часто имеют место ситуации, когда надстроечные элементы (антенны, гаргроты, защитные щитки), расположенные на плоской, цилиндрической или сферической поверхностях, попадают в область взаимодействия истекающих в разреженное пространство струй. Взаимодействие возмущенного струйного потока с выступающими элементами сопровождается сложными ударно-волновыми структурами с наличием областей трехмерного отрывного течения. Как правило изучение данных течений проводится с применением дорогостоящих экспериментальных методов. Однако, в последнее время для решения подобных задач всё чаще применяют программные пакеты численного моделирования. В свою очередь для эффективного использования подобного программного обеспечения необходимо проводить его валидацию. Выбор численного алгоритма решения уравнений сохранения является самостоятельной задачей и оказывает влияние на характеристики получаемого решения и его соответствие исходной системе.

В настоящей работе на примере взаимодействия двух недорасширенных струй с наклонной преградой рассмотрено численное моделирование ударно-волновых структур с помощью открытого программного комплекса OpenFOAM. Рассмотрены различные численные алгоритмы, которые реализованы в соответствующих решателях данного пакета: rhoCentralFoam использует центрально-разностную схему Курганова и Тадмора [1]; QGDFoam – аппроксимацию регуляризованных или квазигазодинамических уравнений [2,3].

В ходе численного исследования проведено сравнение структур течения и распределения давления на преграде с экспериментальными данными [4]. Установлено, что выбранные алгоритмы достаточно точно воспроизводят общую картину течения и эпюры давления на преграде. Выявлены особенности применения двух подходов для расчета сложных ударно-волновых структур потока. Отмечено, что численный алгоритм, основанный на решении регуляризованной системы уравнений, может стать альтернативой схемам Годуновского типа.

Литература:

1. Kurganov, A; Tadmor, E. New high-resolution central schemes for nonlinear conservation laws and convection-diffusion equations, *J. Comp. Phys.*, Vol. 160, Issue 1.
2. Elizarova, T.G.: *Quasi-gas dynamic equations*, Springer, Berlin (2009).
3. Kraposhin, M.V., Smimova, E.V., Elizarova, T.G. & Istomina, M.A. (2018). Development of a new OpenFOAM solver using regularized gas dynamic equations. *Computers and Fluids*, 166, 163-175.
4. В.В. Воронин, А.С. Епихин, Н.Е. Храмов. Численное моделирование газодинамики сложных ударно-волновых структур, сопровождающих высотные струйные взаимодействия при функционировании космических аппаратов. *Космонавтика и ракетостроение*, № 1 (100), С. 118-126, 2018.

Numerical simulation of underexpanded jet impingement on a flat plate

Epikhin A.S.

ISP RAS, Moscow, Russia

The interest in the studying of the jet flows into a vacuum caused by a wide range of scientific and practical applications. The structural elements are located on the flat, cylindrical or spherical surfaces may end up in the interaction region of the underexpanded jets, and it is the typical situation in the design of rocket and space technology. The interaction of a jet flow with structural elements is accompanied by complex shock-wave structures. As a rule, the study of these flows is carried out by expensive experimental methods. However, software packages for numerical modelling are increasingly used to solve such problems in recent years. Validation of such software packages is necessary for their effective usage.

In this work, the numerical simulation of complex shock-wave structures arising from underexpanded jet impingement from a flat plate is carried out by the open-source package OpenFOAM. Two numerical algorithms, which are implemented in the corresponding solvers of this package, were considered. The first one – the rhoCentralFoam solver is based on the Kurganov and Tadmor central difference scheme [1]. The second one – the QGDFoam solver – uses an approximation of regularized, or quasi-gas dynamic, equations [2,3]. The regularized gas dynamic equations are analogous to the Navier-Stokes equations and are used to describe flows in various tasks.

The flow structures and the pressure distribution on the plate were compared with the experimental data [4]. It was found that the selected algorithms accurately simulate the general flow and the pressure distribution on the plate. The features of the application of these approaches for numerical simulation of the complex shock-wave flow structures were identified. It is noted that a numerical algorithm based on a regularized system of equations is more accurate and it can become an alternative to Godunov-type schemes.

References:

1. Kurganov, A; Tadmor, E, New high-resolution central schemes for nonlinear conservation laws and convection-diffusion equations, J. Comp. Phys, Vol. 160, Issue 1.
2. Elizarova, T.G.: Quasi-gas dynamic equations, Springer, Berlin (2009).
3. Kraposhin, M.V., Smirnova, E.V., Elizarova, T.G. & Istomina, M.A. (2018). Development of a new OpenFOAM solver using regularized gas dynamic equations. Computers and Fluids, 166, 163-175.
4. Voronin V., Epikhin A., Khramov N. Numerical simulation of gas dynamics in complex shock-wave structures accompanying high-altitude jet interactions of operating spacecraft. Cosmonautics and rocket engineering, № 1 (100), pp. 118-126, 2018.

Математическое моделирование процессов, определяющих перенос загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах

¹Заурбеков Н.С., ¹Айдосов Г.А., ¹Айдосов А.А., ²Заурбекова Н.Д., ³Заурбекова Г.Н.

¹КазНПУ им. Абая, ²КазНацЖенПУ, ³КазНУ, г. Алматы, Казахстан

Предлагаемая стохастическая модель, в отличие от модели, представленной в гидрометеорологическом справочнике, позволяет прогнозировать загрязнение данного контура территории залповыми выбросами, если известно время дисперсии рассеивания и скорость ветра. Такой прогноз представляется необходимым при аварийных ситуациях (например, на железнодорожном транспорте) для случая утечки «газ-воздух».

В отличие от детерминистических моделей, используемых при решении задач рассеивания загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах источников загрязнения атмосферы, где всегда присутствует необходимость описания причинно-следственных связей, предлагаемая модель базируется на постулате «будущее не зависит от прошлого». Естественно, что упомянутый постулат не означает отрицание физической модели, независимость от прошлого означает лишь, что предмет рассмотрения в этой задаче обладает свойством зависти от случая.

Поскольку речь идёт о приведённом выше постулате, можно допустить следующее описание модели клуба.

В некоторой точке пространства, заполненного атмосферным воздухом, образуется шарообразная движущаяся масса дыма, содержащая некоторое количество примеси (по стандартной терминологии).

С определённого (начального) момента времени будет проследиваться движение клуба примеси залповых выбросов в поле однородной и стационарной турбулентности.

Предложенная модель не содержит эмпирических параметров и коэффициентов (в терминологии справочника), а оперирует понятиями, принятыми для описания случайных процессов.

Корректность описания в модели сущности процесса рассеивания залповых выбросов очевидна: с увеличением скорости ветра рассеивание увеличивается, что влечёт уменьшение вероятности попадания примеси в расчётный контур территории загрязнения.

В этом отношении возможность прогнозирования загрязнения территории залповыми выбросами (даже стационарными источниками) практически отсутствует, если корректно определять понятие «прогноз», то есть как совокупность проявления случайных процессов.

Stochastic model for calculating the dispersion of pollutants in the air

¹Zaurbekov N.S., ¹Aidosov G.A., ¹Aidosov A.A., ²Zaurbekova N.D., ³Zaurbekova G.N.

¹Abai KazNPU, ²KazMKPU, ³KazNU, Almaty, Kazakhstan

The proposed stochastic model, in contrast to the model presented in the hydrometeorological reference, allows predicting the contamination of a given contour of the territory by salvo emissions, if the dispersion time of dispersion and wind speed are known. Such a forecast is necessary in emergency situations (for example, on railway transport) in the event of a gas-to-air leak.

In contrast to deterministic models used in solving problems of dispersion of pollutants contained in the emissions of air pollution sources, where there is always a need to describe cause-and-effect relationships, the proposed model is based on the postulate "the future does not depend on the past". Naturally, the mentioned postulate does not mean the negation of the physical model, independence from the past means only that the subject of consideration in this problem has the property of depending on the case.

Since we are talking about the above postulate, we can assume the following description of the club model.

At some point in the space filled with atmospheric air, a spherical moving mass of smoke is formed, containing a certain amount of impurity (in standard terminology).

From a certain (initial) moment of time, the movement of the club of admixture of salvo emissions in the field of uniform and stationary turbulence will be traced.

The proposed model does not contain empirical parameters and coefficients (in the terminology of the reference book), but operates with concepts accepted for describing random processes.

The correctness of the description in the model of the essence of the process of dispersion of salvo emissions is obvious: with increasing wind speed, dispersion increases, which leads to a decrease in the probability of impurity entering the calculated contour of the pollution territory.

In this regard, the possibility of predicting the territory's pollution by salvo emissions (even by stationary sources) is practically absent if the concept of "forecast" is correctly defined, that is, as a set of manifestations of random processes.

Модель нестационарной механодиффузии для ортотропного сплошного цилиндра под действием объемных сил

Зверев Н.А., Земсков А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время активно исследуются механодиффузионные процессы в твердых деформируемых телах, что обусловлено необходимостью более точного описания воздействия нагрузок различной физической природы на конструкции и их отдельные элементы [1-3].

В представленной работе рассмотрена одномерная полярно-симметричная задача, состоящая в определении напряженно-деформированного состояния ортотропного сплошного многокомпонентного бесконечного цилиндра, находящегося под действием нестационарных объемных возмущений. В математическую постановку задачи входят: N линейных неоднородных дифференциальных уравнений массопереноса в частных производных, дифференциальное уравнение движения упругого твердого тела, решаемого совместно с уравнениями массопереноса, а также краевые условия, замыкающие постановку задачи. Начальные условия принимаются равными нулю.

Учет времени релаксации диффузионных процессов, протекающих в изучаемом теле, означает конечную скорость распространения диффузионных возмущений. На сравнительно небольших временах влияние данного параметра особенно заметно.

Для решения задачи был использован метод функций Грина, согласно которому искомые функции механического перемещения тела и приращения концентрации были представлены в интегральном виде как свертки объемных функций Грина задачи механодиффузии с функциями, задающими объемные возмущения [2,3]. Для нахождения самих функций влияния применялись интегральные преобразования Лапласа по времени, а также разложение искомых функций в ряды по специальным функциям Бесселя. Обращение преобразования Лапласа осуществлялось аналитически с помощью вычетов и таблиц операционного исчисления. Был выполнен тестовый расчет для двухкомпонентного материала, в ходе которого были найдены все искомые величины, необходимые для описания НДС данного тела.

Литература:

1. Zemskov AV, Tarlakovskii DV. Polar-symmetric problem of elastic diffusion for isotropic multi-component plane // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. Vol. 158. No 1. 012101, DOI: 10.1088/1757-899X/158/1/012101
2. Земсков А.В., Тарлаковский Д.В. Полярно-симметричная задача упругой диффузии для многокомпонентной среды // Проблемы прочности и пластичности. 2018. № 80 (1). с. 5-14.
3. Зверев Н.А., Земсков А.В. Постановка нестационарной задачи упругой диффузии для изотропного сплошного цилиндра // Проблемы безопасности на транспорте: материалы IX Международной научно-практической конференции. Гомель: БелГУТ, 2019. Ч. 2. С. 212-214

Model of unsteady mechanodiffusion for an orthotropic solid cylinder under the action of volume forces

Zverev N.A., Zemskov A.V.

MAI, Moscow, Russia

Currently, mechanodiffusion processes in solid deformable bodies are being actively studied, which is due to the need for a more accurate description of the effect of loads of various physical nature on structures and their individual elements.

In this paper, a one-dimensional polar-symmetric problem is considered, which consists in determining the stress-strain state of an orthotropic continuous multicomponent infinite cylinder under the action of unsteady volumetric disturbances. The mathematical formulation of the problem includes: N linear inhomogeneous differential equations of mass transfer in partial derivatives, the differential equation of motion of an elastic rigid body, solved together with the equations of mass transfer, as well as boundary conditions that close the formulation of the problem. The initial conditions are taken equal to zero.

Taking into account the relaxation time of diffusion processes occurring in the studied body means the finite speed of propagation of diffusion perturbations. At relatively short times, the effect of this parameter is especially noticeable.

To solve the problem, the method of Green's functions was used, according to which the sought-for functions of the mechanical displacement of the body and the increase in concentration were presented in integral form as convolutions of the volume Green's functions of the mechanodiffusion problem with functions specifying volume perturbations. To find the influence functions themselves, the integral Laplace transforms in time were used, as well as the expansion of the sought functions into series in terms of special Bessel functions. The Laplace transform was inverted analytically using deductions and tables of operational calculus. A test calculation was performed for a two-component material, in the course of which all the required quantities were found, which are necessary to describe the stress-strain state of a given body.

Оптимизация метода проектирования поверхностей с применением ассоциативной связи

¹Иванов А.А., ¹Карпеченко А.Г., ²Толстов К.В.
ПАО «Туполев», г. Москва, Россия

Во время проектирования и увязки элементов компоновки, периодически возникает необходимость частично выносить их за теоретический контур. Такое расположение элементов компоновки приводит к необходимости проектирования для них математических моделей обтекателей. Некоторые из таких элементов требуют обеспечения отверстия для размещения оптических систем, а некоторые требуют выдерживать определённое расстояние от обтекателя для учёта конструкции крепления или охлаждения. Каждый подобный случай уникален и требует индивидуального и кропотливого подхода в проектировании теоретических поверхностей обтекателей. Задачей данного метода является оптимизация работы с элементами компоновки при моделировании обтекателей. Во время увязки компоновочной схемы, для поиска наиболее оптимального расположения, эти выносные элементы могут претерпевать множественные перемещения и изменения размеров и форм. Это, в свою очередь, приводит к быстрой утрате актуальности ранее построенных моделей обтекателей и требует перепроектирования теоретических поверхностей под каждое новое расположение.

Предлагаемый метод можно разделить на несколько этапов. В начале создаётся сборка, в которую входит модель теоретического контура, рабочая модель элемента компоновки, имеющая прямую связь и зависящая от теоретического контура и рабочая модель обтекателя, связанная с обоими моделями. Далее на уровне сборки задаётся ассоциативная связь с помощью редактора геометрических связей «Wave». Эскизы обтекателей строятся с указанием геометрических ограничений относительно связанных тел компоновки и теоретического контура с учётом требований и пожеланий заказчика. Поверхности обтекателей моделируются с учётом наиболее удобного и оптимального метода для каждого случая. Данный метод может быть использован в программе Siemens NX.

Задание определённого, верного последовательного алгоритма применения встроенных в программу Siemens NX функций и команд позволит оперативно изменять зависимые теоретические поверхности вслед за изменением объектов в автоматическом режиме без участия конструктора.

Всё вышеизложенное позволит существенно сократить время на разработку таких поверхностей, исключить крошечные дефекты, гарантировать выдерживание требуемых размеров, оптимизировать работу разных конструкторов в одной зоне.

Associative method of surface modelling

¹Ivanov A.A., ¹Karpechenko A.G., ²Tolstov K.V.
¹PSC “Tupolev”, Moscow, Russia

During the design and linking of layout elements, it is periodically necessary to partially move them beyond the theoretical contour. This arrangement of assembly elements leads to the need to design mathematical models of fairings for them. Some of these elements require an opening to accommodate the optical systems, and some require a certain distance from the fairing to accommodate mounting design or cooling. Each such case is unique and requires an individual and painstaking approach in the design of theoretical fairing surfaces. During the linking of the layout diagram, in order to find the most optimal location, these remote elements can undergo multiple movements and changes in size and shape. This, in turn, leads to a rapid loss of relevance of previously constructed fairing models and requires the design of new theoretical surfaces for each location.

The goal of this method is to optimize the work with the layout elements when modeling fairings. Setting a certain, correct sequential algorithm for using the functions built into the Siemens NX program. The use of associative links will allow you to quickly change the dependent theoretical surfaces after changing objects in an automatic mode without the participation of the designer. This

will significantly reduce the development time for such surfaces, eliminate tiny defects, ensure that the required dimensions are maintained, and optimize the work of different designers in one area.

Математическое моделирование сверхзвуковых течений с использованием программного комплекса hySol

¹Иванов И.Е., ²Крюков И.А., ¹Ларина Е.В.

¹МАИ, ²ИПМех РАН, г. Москва, Россия

В докладе описывается опыт использования программного комплекса собственной разработки hySol [1,2] предназначенного для численного моделирования сверхзвуковых пространственных течений около тел сложной геометрической формы.

В программном комплексе hySol в качестве математической модели принята система пространственных нестационарных уравнений Навье–Стокса с соответствующими граничными условиями, предназначенная для описания течений сжимаемого, вязкого идеального газа. Все уравнения записываются в неинерциальной, связанной с телом, системе координат и для записи используются компоненты относительной скорости. Неинерциальность системы отсчета учитывается при помощи введения в источникный член кориолисовой силы и силы, связанной с переносным ускорением.

Программный комплекс hySol предназначен для расчета высокоскоростных пространственных течений на неструктурированных расчетных сетках [3], аналогично [4]. Возможно использование гибридных расчетных сеток, которые состоят из тетраэдров, пирамид, призм и шестигранников. В основу программного комплекса hySol положен численный метод, который может рассматриваться как вариант метода Годунова повышенного порядка [1,3]. Для второго порядка точности используется кусочно-линейное восстановление параметров внутри ячеек. Градиенты, необходимые для линейного восстановления, вычисляются при помощи метода наименьших квадратов с использованием различных ограничителей. Для расчета невязких потоков в программном комплексе hySol реализовано большинство популярных решателей задачи Римана. Дискретизация по времени основана на явных методах Рунге-Кутты второго или третьего порядка точности.

В докладе приводятся примеры использования hySol для расчета внутренних течений в соплах и сверхзвукового обтекания различных летательных аппаратов: X-43, X-51 и ряда других.

Литература:

1. Глушко Г.С., Иванов И.Э., Крюков И.А. Метод расчета турбулентных сверхзвуковых течений. Математическое моделирование, 2009, т. 21, № 12, с.103 - 121.

2. Крюков И. А., Иванов И. Э., Ларина Е. В. Верификация программного комплекса hysol для расчета высокоскоростных течений. Материалы XX Юбилейной Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2017), 24–31 мая 2017 г. Алушта. Т. 1. М.: Изд-во МАИ Москва, 2017. С. 485–487.

3. I. E. Ivanov, I. A. Kryukov, E. V. Larina, V. L. Miroshkin. Mathematical and software support for 3d mathematical modeling of the airflow impact on the optical-mechanical unit mounted in the aircraft unpressurized compartment. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mathematical Modelling, Programming & Computer Software (Bulletin SUSU MMCS), 2017, vol. 10, no. 4, pp. 113-123.

4. В.А. Волков, В.Н. Гаврилюк, В.Ю. Гидаспов, А.В. Хохлов. Численное моделирование гиперзвукового обтекания тел воздухом с учетом равновесной диссоциации. Математическое моделирование, 2007, т. 19, н. 12, стр. 70-80.

Numerical simulation of supersonic flows using the hySol software package

¹Ivanov I.E., ²Kryukov I.A., ¹Larina E.V.

¹MAI, ²IPMech RAS, Moscow, Russia

In the talk, we describe the experience of using the hySol [1,2] in-home software package for numerical simulation of supersonic 3D flows around bodies of complex geometric shapes.

In the hySol software package, the system of 3D unsteady Navier – Stokes equations with the corresponding boundary conditions is adopted as a mathematical model, governed the flows of a compressible viscous ideal gas. All equations are written in a non-inertial body-related coordinate system with the relative velocity components. The non-inertia of the reference system is taken into account by introducing the Coriolis force and the force associated with the translational acceleration into the source term.

The hySol software package is developed to calculate high-speed 3D flows on unstructured computational grids [3,4]. It is possible to use hybrid computational grids, which consist of tetrahedrons, pyramids, prisms, and hexagons. The hySol software package is based on a numerical method, which can be considered as a variant of the high-order Godunov method. For the second-order of accuracy, a piecewise linear reconstruction of the primitive variables inside the cells is used. The gradients required for linear reconstruction are calculated using the least-squares method using various limiters. For the calculation of inviscid flows, the hySol software package implements most of the popular Riemann solvers. Time discretization is based on explicit Runge-Kutta methods of the second or third order of accuracy.

The talk provides examples of using hySol for calculating internal flows in nozzles and supersonic flow around various aircraft: X-43, X-51, and some others.

References:

1. G. S. Glushko, I. E. Ivanov, I. A. Kryukov Computational method for turbulent supersonic flows.

Mathematical Models and Computer Simulations. volume 2, pages 407–422 (2010).

2. I. A. Kryukov, I. E. Ivanov, E. V. Larina. Verification of the hySol software package for calculating high-speed flows. Proceedings of the XX anniversary international conference on computational mechanics and modern applied software systems (CMMASS'2017), 24–31 May 2017. Alushta, Crimea. V.1. Moscow: MAI, 2017. pp. 485–487.

3. I. E. Ivanov, I. A. Kryukov, E. V. Larina, V. L. Miroshkin. Mathematical and software support for 3d mathematical modeling of the airflow impact on the optical-mechanical unit mounted in the aircraft unpressurized compartment. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mathematical Modelling, Programming & Computer Software (Bulletin SUSU MMCS), 2017, vol. 10, no. 4, pp. 113-123.

4. V.A. Volkov, V.N. Gavriliouk, V.Y. Gidaspov, A.V. Chochlov. Numerical simulation of external hypersonic equilibrium air flows. Matematicheskoe modelirovanie, 2007, v. 19, n. 12, pp. 70-80.

Методика оптимизации стратегии технического обслуживания газоналитических систем с применением модели полумарковских процессов

¹Канищев О.А., ²Бобков В.И., ³Меньшова И.И.

¹СПО «АНАЛИТПРИБОР», ²Филиал НИУ «МЭИ», г. Смоленск, Россия

³РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия

Использование газоналитических систем для обеспечения безопасной эксплуатации опасных химических производств предъявляет к ним требования высокой эксплуатационной надежности, которые достигаются с использованием аппаратных и организационных способов. При аппаратном способе применяют различные виды избыточности, усложняя структуру системы, при организационном способе изменяют режимы эксплуатации, в том числе, увеличивая номенклатуру и запасы комплекта запасных частей (ЗИП), что может приводить к чрезмерным (избыточным) объемам запасных частей и неоправданному увеличению стоимости эксплуатации и технического обслуживания.

Важнейшим способом обеспечения требуемого уровня эксплуатационной надежности газоналитических систем является разработка научно-обоснованной стратегии оптимального ТО, учитывающей основные параметры эксплуатации и структуру систем. В настоящее время существует несколько подходов к разработке оптимальной стратегии ТО, одним из которых является математическое моделирование процесса эксплуатации системы.

Авторами предложена методика принятия научно-обоснованных решений по оптимизации стратегии технического обслуживания газоаналитических систем на основе изменения состава ЗИП с использованием компьютерной полумарковской модели, включающая следующие этапы:

1. Выявление параметров процесса эксплуатации, которые оказывают существенное влияние на показатели надежности ГАСМ.

2. Определение набора состояний процесса эксплуатации, описывающие процесс эксплуатации системы со структурной избыточностью и стратегией экстренного восстановления; построение компьютерной полумарковской модели.

3. Комплексирование результатов обработки экспериментальной информации о показателях надежности газоаналитических систем с учетом показателя выживаемости и при помощи стандартных методов.

4. Определение вероятности отказа ЗИП для системы со структурной избыточностью и стратегией экстренного восстановления.

5. Определение коэффициента готовности системы с использованием комплекса программ «Коэффициент готовности ГАСМ».

6. Принятие решения по оптимизации стратегии ТО путем выбора ЗИП с минимальной стоимостью, при котором обеспечивается достаточное значение коэффициента готовности.

Как представляется, предложенная методика, позволит своевременно разработать рекомендации по оптимальной стратегии ТО и исключить формирование избыточных запасов ЗИП при эксплуатации газоаналитических систем

Methods optimization maintenance strategy of gas analytical systems by semi-Markov model

¹Kanishchev O.A., ²Bobkov V.I., ³Men'shova I.I.

¹SPA "Analitpribor", ²Branch of NRU "MPET", Smolensk, Russia

³MUCTUR, Moscow, Russia

The gas analytical systems are applied to ensure the safe operation of chemical plants therefore imposed high operational reliability requirements. Reliability requirements are achieved by hardware and organization ways. The hardware ways use various types of complicating the structure of the system. The organizational ways use the operating modes changing, including by increasing spare parts (SPTA) therefore increasing maintenance costs.

The best way to ensure the required reliability of gas analytical systems is to provide a scientific strategy for optimal maintenance, taking into account the main operating parameters and the structure of the systems. There are several approaches to developing the scientific strategy, one is mathematical modeling of the system operation and maintenance

The authors provided a method to design scientific strategy for optimal maintenance of gas analytical systems based on changing the composition of SPTA by a semi-Markov model that includes the following stages:

1. Identification of the operating parameters mostly influencing the reliability gas systems.

2. Determination operational process states, specific for the systems with structural redundancy and emergency recovery; Design of semi-Markov model.

3. Summarizing the experimental information of the reliability of gas analytical systems using Survival analysis and standard methods.

4. Calculating of the probability of failure of SPTA for a system with structural redundancy and emergency recovery.

5. Calculating of the system availability factor using the software package "GASM availability factor".

6. Making a decision to optimize the maintenance by changing the composition of SPTA with minimum maintenance costs and sufficient availability factor.

It seems that the provided technique will ensure develop recommendations for the optimal maintenance and exclude the formation of excess SPTA during the operation of gas analytical systems

Применение дескрипторов Цернике в задаче построения порождающего авто-декодера

Кондратцев В.Л.
МАИ, г. Москва, Россия

В последние годы из-за широкого развития таких областей как беспилотный транспорт, дополненная и виртуальная реальность, компьютерное моделирование пространственных процессов в реальном времени и пр., получило активное развитие новая наука на стыке компьютерной графики, машинного зрения и машинного обучения под названием геометрическое глубокое обучение [1]. Одной из важных задач в этой области является задача восстановления трехмерной формы объекта по ее двумерной проекции (т.н. задача 2D-to-3D), решение которой позволило бы автоматически генерировать синтетические наборы данных трехмерных объектов из существующих двумерных (RGB изображения) наборов данных.

Один из способов решение данной задачи – использование глубоких архитектур машинного обучения. В данной работе, аналогично тому как это было сделано в работе [2], рассматривается архитектура глубокого авто-декодера, позволяющая путем оптимизации вектора скрытого представления (вектора латентного пространства) для конкретного объекта, обучать веса нейронной сети для ее дальнейшего целевого использования. В работе [2] в качестве скрытого представления использовалась функция расстояния со знаком (т.н. SDF функция), которая способна неявно выражать форму объекта с помощью уравнения изоповерхности. В отличие от неявного подхода SDF функции, в данной работе предлагается в качестве скрытого представления использовать трехмерные дескрипторы Цернике [3], явно выражающие функциональную зависимость поверхности объекта от вектора скрытого представления.

В работе получена программная реализация дескриптивизации и восстановления для дескрипторов Цернике, получена сегментированная карта дескрипторов методом t-SNE для набора данных ShapeNet Core и рассмотрены эксперименты по восстановлению трехмерной модели с помощью авто-декодер архитектуры.

Литература:

1. Bronstein, M.M., Bruna, J., LeCun, Y., Szlam, A. and Vandergheynst, P., 2017. Geometric deep learning: going beyond euclidean data. *IEEE Signal Processing Magazine*, 34(4), pp.18-42.
2. Park, J.J., Florence, P., Straub, J., Newcombe, R. and Lovegrove, S., 2019. Deepsdf: Learning continuous signed distance functions for shape representation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 165-174).
3. Novotni, M. and Klein, R., 2004. Shape retrieval using 3D Zernike descriptors. *Computer-Aided Design*, 36(11), pp.1047-1062.

Application of Zernike descriptors in the task of building a generating auto-decoder

Kondratyev V.L.
MAI, Moscow, Russia

In recent years, due to the wide development of such areas as unmanned transport, augmented and virtual reality, computer modeling of spatial processes in real time, etc., a new science at the intersection of computer graphics, machine vision and machine learning called geometric deep learning has been actively developed [1]. One of the most important tasks in this area is the task of restoring the three-dimensional shape of an object from its two-dimensional projection (so-called a 2D-to-3D problem), the solution of which would automatically generate synthetic data sets of three-dimensional objects from existing two-dimensional (RGB images) data sets.

One way to solve this problem is to use deep machine learning architectures. In this paper, similar to what was done in [2], we consider the architecture of a deep auto-decoder, which allows, by optimizing the hidden representation vector (latent space vector) for a specific object, to train the weights of a neural network for its further target use. In [2], a signed distance function (SDF function) was used as a hidden representation, which is able to implicitly express the shape of an object using the isosurface equation. In contrast to the implicit approach of the SDF function, this

paper suggests using three-dimensional Zernike descriptors as a hidden representation [3], which explicitly express the functional dependence of the object surface on the vector of the hidden representation.

In this paper, a software implementation of descriptionization and recovery for Zernike descriptors is obtained, a segmented map of descriptors is obtained using the t-SNE method for the ShapeNet Core data set, and experiments on restoring a three-dimensional model using an auto-decoder architecture are considered.

References:

1. Bronstein, M.M., Bruna, J., LeCun, Y., Szlam, A. and Vandergheynst, P., 2017. Geometric deep learning: going beyond euclidean data. *IEEE Signal Processing Magazine*, 34(4), pp.18-42.
2. Park, J.J., Florence, P., Straub, J., Newcombe, R. and Lovegrove, S., 2019. DeepSDF: Learning continuous signed distance functions for shape representation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 165-174).
3. Novotni, M. and Klein, R., 2004. Shape retrieval using 3D Zernike descriptors. *Computer-Aided Design*, 36(11), pp.1047-1062.

Моделирование когнитивных процессов

Коржук Н.Л., Индюхин А.Ф.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Предложен способ исследования и картирования когнитивной активности мозга. Автоматическая настройка селективного фильтра позволяет выделить корковый ответ на внешний стимул. Параметры модели определяют неврологический статус пациента.

В.И. Вернадский отмечал, что человеческий мозг предоставляет своеобразную методику проникновения в неизвестное, которая оправдывается успехом, но которую нельзя представить моделью [1]. Когнитивный процесс, как осознание и постижение, завершает чувственное восприятие и обращение к памяти синтезом нового знания. Моделирование рождения гениальной идеи затрудняется также тем, что память человека, в отличие от памяти ЭВМ, имеет свойства голографичности и фрактальности. Наука пока только исследует временные аспекты мыслительного процесса – изменения локальных потенциалов нейронных ансамблей, проявляющихся в электроэнцефалограмме (ЭЭГ). При этом электрический образ когнитивного процесса не регистрируется напрямую, поскольку сопровождается многочисленными фоновыми процессами головного мозга, имеющими на порядок большую амплитуду.

В эксперименте проводилась запись ЭЭГ с когнитивной нагрузкой. В качестве стимула на экране ноутбука предъявляются две фигуры – круг и квадрат. В задачу испытуемого входит мысленно назвать фигуру с большей площадью. Сигналы подаются на модель системы селективных фильтров, подавляющую фоновую активность, что позволяет выявить единственный когнитивный ответ на афферентный стимул. По данным П.К. Анохина [2] максимум вызванного отклика соответствует прохождению сигнала через определенную нервную структуру (центр). С помощью криволинейной интерполяции можно вычислить положение того центра, где максимум сигнала находится в данный момент времени.

В работе модифицирован предложенный ранее способ обработки ЭЭГ [3], основанный на моделировании в реальном времени самонастраивающегося фильтра. Модификация способа повысила его эффективность, быстродействие и помехоустойчивость. Адаптивная математическая модель определяет локализацию когнитивного ответа в коре головного мозга по заданному уровню потенциала. Параметры математической модели после окончания настройки дают количественную оценку уровня взаимодействия различных зон коры, что характеризует эффективность определенных функциональных систем организма.

Использование математического моделирования в исследованиях эффективно локализует индивидуальную когнитивную доминанту и картину возможных неврологических нарушений.

Литература:

1. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Кн. 2. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1977. 191 с.
2. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М.: Медицина, 1968. – 549 с.
3. Способ диагностики вызванного потенциала мозга и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2502466 от 27.12.2013 / Хадарцев А.А., Жеребцова В.А., Коржук Н.Л., Индюхин А.Ф., Индюхин А.А.

Simulation of cognitive processes

Korzhuk N.L., Indyukhin A.F.

TulSU, Tula, Russia

A method for research and mapping of cognitive activity of the brain is proposed. Automatic adjustment of the selective filter allows you to highlight the cortical response to external stimulus. The model parameters determine the patient's neurological status.

V.I. Vernadsky noted that the human brain provides a kind of method for penetrating into the unknown, which is justified by success, but which cannot be represented by a model. [1]. The cognitive process, like awareness and comprehension, completes sensory perception and recourse to memory with the synthesis of new knowledge. Modeling the birth of a brilliant idea is also complicated by the fact that human memory, unlike computer memory, has the properties of holographic and fractal properties. Science so far only explores the temporal aspects of the thought process – changes in the local potentials of neural ensembles, manifested in an electroencephalogram (EEG). At the same time, the electrical image of the cognitive process is not recorded directly, since it is accompanied by numerous background processes of the brain, which have an order of magnitude greater amplitude.

In the experiment, an EEG was recorded with a cognitive load. As a stimulus, two figures are presented on the laptop screen – a circle and a square. The subject's task is to mentally name a figure with a larger area. The signals are fed to a model of a selective filter system that suppresses background activity, which makes it possible to identify a single cognitive response to an afferent stimulus. According to P.K. Anokhin [2], the maximum of the evoked response corresponds to the passage of a signal through a certain nerve structure (center). Using curvilinear interpolation, you can calculate the position of the center where the maximum signal is at a given time.

The work modified the previously proposed method of EEG processing [3], based on real-time simulation of a self-adjusting filter. Modification of the method has increased its efficiency, speed and noise immunity. An adaptive mathematical model determines the localization of the cognitive response in the cerebral cortex at a given level of potential. The parameters of the mathematical model after the end of the tuning give a quantitative assessment of the level of interaction between different zones of the cortex, which characterizes the effectiveness of certain functional systems of the body.

The use of mathematical modeling in research effectively localizes the individual cognitive dominant and the picture of possible neurological disorders.

References:

1. Vernadsky V.I. Reflections of a naturalist. Book 2. Scientific thought as a planetary phenomenon. Moscow: Nauka, 1977.191 p.
2. Anokhin P.K. Biology and neurophysiology of the conditioned reflex. М.: Medicine, 1968. 549 p.

Распознавание речевых команд с использованием сверточных нейронных сетей на малых обучающих выборках

¹Корсун О.Н., ¹Полиев А.В., ²Николаев С.В.

¹ГосНИИАС, г. Москва, Россия

²МАИ, г. Ахтубинск, Россия

Оптимизация и рациональная организация человеко-машинного взаимодействия, а именно автоматическое распознавание речевых команд, является важной задачей. Например, в авиации успешное внедрение интерфейсов распознавания речи снижает нагрузку на пилота,

повышает скорость и качество передачи информации, тем самым обеспечивая безопасность полета [1].

В докладе представлен разработанный алгоритм автоматического распознавания отдельных слов и фраз на основе сверточных искусственных нейронных сетей. Данный алгоритм удовлетворяет основным требованиям к речевому интерфейсу в авиации: высокая вероятность правильного распознавания команды пилота при наличии существенных акустических шумов и результативность алгоритма как для дикторозависимого, так и для дикторонезависимого вариантов распознавания. Представленный алгоритм является логическим продолжением исследований в области разработки методов автоматического распознавания команд заданного конечного словаря [2-3].

При проведении экспериментальной части исследования на сверточных нейронных сетях получены оптимальные значения длины временного интервала и количества частотных полос в параметрическом портрете. Мини-пакетная реализация метода обратного распространения ошибки признана оптимальной для обучения нейронных сетей. Моделирование нейронных сетей проводится на языке программирования Python с использованием библиотек TensorFlow и TFlearn [4-5]. Также применяется технология использования графического процессора видеокарты CUDA, предназначенная для параллельных вычислений [6].

Приведены результаты работы для дикторозависимого и дикторонезависимого вариантов распознаваний в условиях без шума и с различными уровнями шума, подтверждающие работоспособность предложенного алгоритма. Размер обучающей базы был небольшим и составлял 4800 записей, выполненных для 8 дикторов. Также описаны эвристически найденная архитектура и параметры используемой сверточной нейронной сети. Работа поддержана РФФИ, проект 18-08-01142.

Recognition of speech commands using conventional neural networks in small training sets

¹Korsun O.N., ¹Poliev A.V., ²Nikolaev S.V.

¹GosNIAS, Moscow, Russia

²MAI, Ahtubinsk, Russia

Optimization and rational organization of human-machine interaction, namely, automatic recognition of speech commands, is an important task of our time. Much attention is paid to this in aviation: the successful implementation of speech recognition interfaces reduces the burden on the pilot, increases the speed and quality of information transfer, thereby ensuring flight safety [1].

The report presents a developed algorithm for automatic recognition of individual words and phrases based on ultra-precise artificial neural networks. This algorithm satisfies the main requirements for a speech interface in aviation: a high probability of correct recognition of a pilot's command in the presence of significant acoustic noise and the effectiveness of the algorithm for both speaker-dependent and speaker-independent recognition options. The presented algorithm is a logical continuation of research in the development of methods for automatic recognition of commands of a given fixed dictionary [2-3].

When conducting the experimental part of the research on convolutional neural networks, the optimal values of the length of the time interval and the number of frequency bands in the parametric portrait were obtained. A mini-batch implementation of the error backpropagation method was chosen as optimal for training neural networks. Modeling of neural networks is carried out in the Python programming language using the TensorFlow and TFlearn libraries [4-5]. The CUDA parallel computing technology of using the video card graphics processor is employed [6].

The results of work for speaker-dependent and speaker-independent recognition variants in conditions without noise and with different noise levels, confirming the efficiency of the proposed algorithm, are presented. The size of the training base was small and amounted to the total 4800 recordings made for 8 speakers. The heuristically found architecture and parameters of the used convolutional neural network are also described. Supported by RFBR, project 18-08-01142.

Инструмент для решения задач газовой динамики разрывным методом Галеркина на основе открытого ПО

Корчагова В.Н.

ИСП РАН, г. Москва, Россия

При решении задач газовой динамики в промышленных приложениях часто требуется хорошее качество разрешения сильных разрывов и газодинамических неустойчивостей. При использовании популярного метода контрольного объема в таких задачах объем расчетной сетки разрастается до сотен миллионов ячеек, особенно в трехмерной постановке, поэтому переход к методам высокого порядка аппроксимации является актуальной задачей. Особый интерес представляет разрывный метод Галеркина (RKDG) [1], с помощью которого можно сохранить компактность шаблона аппроксимации при повышении порядка, что делает этот метод весьма привлекательным для использования на неструктурированных сетках в геометрии сложной формы.

Кроме того, разрывный метод Галеркина видится наиболее подходящим численным методом для решения гиперболических задач, допускающих наличие разрывов в решении. В отличие, к примеру, от метода конечных элементов, алгоритм метода RKDG допускает наличие разрывов решения на границах между ячейками, что может серьезно повысить разрешающую способность численной схемы к воспроизведению подобных особенностей.

Среди открытого программного обеспечения можно найти реализации разрывного метода Галеркина применительно к гладким решениям [2-4], однако не удается найти готового решателя, способного хорошо разрешать и сильные разрывы, и газодинамические неустойчивости. На основе функционала, заложенного в рамках открытого программного комплекса, возможно реализовать собственные численные алгоритмы, удовлетворяющие заданным требованиям. Данная работа посвящена реализации численных схем RKDG на основе конечно-элементной библиотеки MFEM [4], исходный код которой оказался наиболее приспособленным к использованию в разработке собственного приложения, а задел DG для гладких решений, имеющийся в библиотеке – к расширению для решения задач с разрывными решениями.

В рамках приложения реализованы несколько способов расчета численных потоков [5], а также варианты выбора монотонизатора решения и поиска проблемных ячеек на основе локального принципа максимума [6]. На задаче Шу – Осера и задаче об обтекании прямого уступа показано, что способность RKDG-метода к разрешению сильных разрывов и флуктуаций решения на гладких участках намного выше, чем у метода контрольного объема (решатель rhoPimpleCentralFoam открытого пакета OpenFOAM [7]). Результат решения задачи Сода в одномерной постановке показывает, что использование численного потока Лакса – Фридрикса приводит к возникновению немонотонностей на контактном разрыве и за ним, в отличие от потоков HLL и HLLC. Влияние выбора монотонизатора решения показано на “сферической” задаче Сода: выбор лимитера Michalac позволяет сохранить симметрию решения, в отличие от лимитеров Barth – Jespersen и Venkatakrishnan.

Литература:

1. Cockburn B., Shu C.-W. TVB Runge-Kutta Local Projection Discontinuous Galerkin Finite Element Method for Conservation Laws II: General Framework // *Mathematics of Computation*. 1989. Vol. 52. No. 186. P. 411.
2. Alnæs M., Blechta J., Hake J., *et al.* The FEniCS project version 1.5 // *Archive of Numerical Software*, 2015. Vol. 3. No. 100. URL: <https://journals.ub.uni-heidelberg.de/index.php/ans/article/view/20553> (accessed: 13.11.2020)
3. Permarn C., Gaston D., Andrs D., *et al.* MOOSE: Enabling massively parallel multiphysics simulation // *SoftwareX*, 2020. Vol. 11. P. 100430, 2020. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352711019302973> (accessed: 13.11.2020)
4. MFEM: A modular finite element methods library / R. Anderson, J. Andrej, A. Barker *et al.* // *Computers Mathematics with Applications*. 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/342873348_MFEM_A_modular_finite_element_methods_library (accessed: 13.11.2020)

5. Toro E. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics. Berlin: Springer, 2009. 724 p.

6. Michalak K., Ollivier-Gooch C. Limiters for unstructured higher-order accurate solutions of the Euler equations // 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 2008. URL: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2008-776> (accessed: 13.11.2020)

7. A hybrid pressure-based solver for non-ideal single-phase fluid flows at all speeds: Non-ideal single-phase fluid flow solver / M. Kraposhin, M. Banholzer, M. Pfitzner *et al.* // International Journal for Numerical Methods in Fluids. 2018. Vol. 88. P. 79–99.

RKDG tool for solution of gas dynamics problems based on open-source software

Korchagova V.N.

ISP RAS, Moscow, Russia

The good resolution of strong shocks and gas dynamics instabilities is one of the main requirements in industrial gas dynamics problems. When such a problem is tried to be solved by the popular finite volume method the mesh size grows up extremely (to hundreds of million cells), especially for three-dimensional problems. The way to avoid this effect is to increase the order of approximation of the scheme. The Runge – Kutta Discontinuous Galerkin method [1] is one of the interesting high-order methods; its feature is the polynomial approximation of solution inside the computational cell, which helps to increase the approximation order and to save the compact stencil. Therefore, it makes RKDG the best approach to construct a high-order numerical scheme for fully unstructured meshes in complex geometries.

Furthermore, the discontinuous Galerkin method seems to be the most suitable for hyperbolic problems with discontinuous solutions. The RKDG method turns on discontinuities in cell boundaries, which can improve the resolution of shock waves and other discontinuities.

Looking for open-source RKDG solvers for continuous solutions gives some codes [2-4], but it is very hard to find a good solver for discontinuous problems. The good way to accelerate the development of a new solver is writing the appropriate code based on some open-source library. This work is concerned with the implementation of RKDG schemes based on the free finite-element library MFEM [4] which RKDG groundwork was very suitable and flexible to be modified in the own application.

Different modules were implemented to gather the numerical algorithm. There are different ways to compute numerical fluxes [5], to limit non-physical oscillations and to find the problem cells (in this work, LMP-based limiters were considered [6]). The high efficiency of RKDG method to resolve strong shocks is presented on the Shu – Osher (1D) and the Forward Step (2D) problems in comparison with the finite volume method (implemented in the OpenFOAM-based solver rhoPimpleCentralFoam [7]). It is presented on the 1D Sod problem that using Local Lax – Friedrichs numerical flux causes small oscillations near the contact discontinuity, in contrast to HLL and HLLC Riemann solvers. An influence of the limiter technology is considered on the 3D Sod-like spherical explosion: Michalak’s limiter keeps the symmetry of solution, Barth – Jespersen and Venkatakrishnan do not.

References:

1. Cockburn B., Shu C.-W. TVB Runge-Kutta Local Projection Discontinuous Galerkin Finite Element Method for Conservation Laws II: General Frame-work // Mathematics of Computation. 1989. Vol. 52. No. 186. P. 411.

2. Alnæs M., Blechta J., Hake J., *et al.* The FEniCS project version 1.5 // Archive of Numerical Software, 2015. Vol. 3. No. 100. URL: <https://journals.ub.uni-heidelberg.de/index.php/ans/article/view/20553> (accessed: 13.11.2020)

3. Permann C., Gaston D., Andrs D., *et al.* MOOSE: Enabling massively parallel multiphysics simulation // SoftwareX, 2020. Vol. 11. P. 100430, 2020. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352711019302973> (accessed: 13.11.2020)

4. MFEM: A modular finite element methods library / R. Anderson, J. Andrej, A. Barker *et al.* // Computers Mathematics with Applications. 2020. URL:

https://www.researchgate.net/publication/342873348_MFEM_A_modular_finite_element_method_library (accessed: 13.11.2020)

5. Toro E. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics. Berlin: Springer, 2009. 724 p.

6. Michalak K., Ollivier-Gooch C. Limiters for unstructured higher-order accurate solutions of the Euler equations // 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 2008. URL: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2008-776> (accessed: 13.11.2020)

7. A hybrid pressure-based solver for non-ideal single-phase fluid flows at all speeds: Non-ideal single-phase fluid flow solver / M. Kraposhin, M. Banholzer, M. Pfitzner *et al.* // International Journal for Numerical Methods in Fluids. 2018. Vol. 88. P. 79–99.

Численное моделирование нестационарных газодинамических процессов при старте твердотопливных ускорителей

Костюшин К.В., Еремин И.В., Червакова А.В., Алигасанова К.Л.

ТГУ, г. Томск, Россия

В работе представлены результаты разработки методики сквозного расчета нестационарных газодинамических процессов, протекающих при старте ракетносителей (РН), в газодинамических трактах ракетных двигателей (РД) и внешних областях, включающих в себя: камеру сгорания с изменяемой в процессе разгара наполнителя геометрией; сопловой блок; сверхзвуковую струю, взаимодействующую с обтекаемыми поверхностями РН и поверхностью старта.

Рассматривается задача математического моделирования газовой динамики старта РН на нестационарных режимах работы РДТТ с учетом изменения поверхности горения заряда твердого топлива (ТТ) и силового взаимодействия сверхзвуковых струй продуктов сгорания с поверхностью старта и элементами конструкции РН. Работа крупногабаритных РДТТ характеризуется неравномерным выгоранием заряда ТТ по длине канала, что в случае исследования нестационарных процессов приводит к необходимости учета изменения геометрии заряда. РН находится под действием газодинамических сил (сил тяги, аэродинамического сопротивления) и силы тяжести. Истекающая струя газообразных продуктов сгорания взаимодействует с поверхностью старта и элементами конструкции РН.

Предполагается что в начальный момент времени фронт горения моментально распространяется по всей поверхности заряда твердого топлива. Продукты сгорания представляют собой невязкий сжимаемый идеальный газ. Для численного решения уравнений Эйлера используется схема Годунова, адаптированная к произвольному количеству граней в расчетной ячейке.

Для моделирования процесса выгорания заряда твердого топлива используется методика, основанная на аппроксимации формы канала заряда совокупностью граней элементарных ячеек, расположенных в окрестности поверхности горения. Для определения нового положения поверхности горения и локального газопритока используется степенной закон горения. Проведены численные исследования газодинамики старта модельного осесимметричного твердотопливного ускорителя. Расчеты проведены в осесимметричной постановке на блочно-структурированной расчетной сетке.

Показано, что минимальное силовое воздействие на преграду соответствует взаимодействию в сечениях 2-5 бочек невозмущенной струи на расстояниях 13,0, 22,2, 31,7 и 40,9 м. от среза сопла до поверхности преграды.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № 0721-2020-0032.

Mathematical modeling of non-stationary gas-dynamic processes at the start of solid-fuel accelerators

Kostyushin K.V., Eremin I.V., Chervakova A.V., Aligasanova K.L.

TSU, Tomsk, Russia

The paper presents the results of the development of a methodology for the end-to-end calculation of non-stationary gas-dynamic processes occurring at the launch of launch vehicles, in

the gas-dynamic paths of rocket engines and external regions, including: a combustion chamber with a variable geometry during the filling process; nozzle block; supersonic jet interacting with the streamlined surfaces of the launch vehicle and the launch surface.

We consider the problem of mathematical modeling of the gas dynamics of a rocket launch at unsteady engine operating conditions, taking into account the change in the combustion surface of a solid fuel charge and the force interaction of supersonic jets of combustion products with the launch surface and rocket design elements. The operation of large solid propellants is characterized by uneven burnup of the fuel charge along the length of the channel, which, in the case of studying non-stationary processes, leads to the need to take into account changes in the geometry of the charge. The rocket is under the influence of gas-dynamic forces and gravity. The outflowing jet of gaseous combustion products interacts with the launch surface and rocket structural elements.

It is assumed that at the initial moment of time, the combustion front instantly spreads over the entire surface of the solid fuel charge. The combustion products are inviscid compressible ideal gas. For the numerical solution of the Euler equations, the Godunov scheme is used, adapted to an arbitrary number of faces in the computational cell.

To simulate the process of burning out a solid fuel charge, a technique is used based on approximating the shape of the charge channel by a set of faces of unit cells located in the vicinity of the combustion surface. The power law of combustion is used to determine the new position of the combustion surface and local gas entry. On the basis of the described technique, a software package has been developed that allows calculating unsteady flows of combustion products in the gas-dynamic paths of a rocket engine and external regions.

It is shown that the minimum force impact on the obstacle corresponds to the interaction in the sections of 2-5 barrels of the undisturbed jet at distances of 13.0, 22.2, 31.7 and 40.9 m from the nozzle exit to the obstacle surface.

This research was supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No 0721-2020-0032.

Открытое программное обеспечение как конструктор комплексных цифровых моделей технических систем

Крапошин М.В.

Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, г. Москва, Россия

Направленные усилия исследовательских групп по всему земному шару привели к возникновению десятков международных проектов открытым исходным кодом, предназначенных для моделирования технических систем. Некоторые проекты начинались как промышленные системы с закрытым исходным кодом. Другие планировались как открытые библиотеки и платформы, либо создаваемые энтузиастами или поддерживаемые государственными или коммерческими структурами.

Эти системы исторически развивались как средство для решения узкоспециализированных задач и не могут выйти за пределы своей области применимости в силу таких причин как:

- Свойства применяемого численного метода (консервативность, порядок аппроксимации и пр.).
- Рост вычислительных затрат при решении нетиповых задач (решение задачи с заданной точностью может потребовать привлечения слишком обширных ресурсов).

Однако же для успешного решения задач моделирования требуется комбинирование различных подходов и методов в рамках одной программной платформы. Стратегия, основанная на «реализации с нуля» численного алгоритма решения может быть эффективна только в очень частных случаях или в образовательных проектах. Если же речь идёт об использовании ПО в крупных проблемах, то временные рамки и требования надёжности не позволяют вести разработку сложных моделей с применением средств и библиотек низкого уровня. Причём, чем сложнее задача, тем всё более высокоуровневой должна быть интегрируемая технология. Это должно позволить коллективу разработчиков сосредоточиться на прикладной проблеме, а не на технических деталях реализации стандартных алгоритмов из университетского учебного курса. На разработку (включая

проектирование, набор кода, отладку и тестирование, верификацию, документирование и подготовку установочного дистрибутива) каждого модуля в отдельности может уйти время, сопоставимое со сроком выполнения всего проекта.

В докладе делается обзор пакетов и технологий с открытым исходным кодом для: конечно-объемного анализа, конечно-элементного анализа, конечно-разностного анализа (с адаптивными сетками), бессеточных методов, методов повышенного порядка точности, методов смешанного типа, одномерного (системного) анализа, анализа неопределенности, оптимизации, понижения размерности, мультидисциплинарных моделей, визуализации, интеграции, а также решения узкоспециальных проблем.

Open Source Software as a construction set for complex digital models of technical systems

Kraposhin M.V.

ISP RAS, Moscow, Russia

The dedicated efforts of research groups around the globe have resulted in dozens of international open source projects dedicated to modeling technical systems. Some projects started out as closed source industrial systems. Others were planned as open source libraries and platforms, either created by enthusiasts or supported by government or commercial entities.

These systems have historically developed as a means for solving highly specialized problems and cannot go beyond their area of applicability for reasons such as:

- Properties of the applied numerical method (conservatism, approximation order, etc.).
- An increase in computational costs when solving atypical problems (solving a problem with a given accuracy may require too extensive resources).

However, the successful solution of modeling problems requires a combination of different approaches and methods within one software platform. The strategy based on the "implementation from scratch" of the numerical algorithm of the solution can be effective only in very special cases or in educational projects. If we are talking about using software in large problems, then the time frame and reliability requirements do not allow developing complex models using low-level tools and libraries. Moreover, the more complex the task, the more and more high-level the integrated technology should be. This should allow the development team to focus on the applied problem, and not on the technical details of the implementation of standard algorithms from the university curriculum. The development (including design, coding, debugging and testing, verification, documentation, and preparation of the installation distribution) of each module individually can take time comparable to the completion time of the entire project.

The report provides an overview of open source packages and technologies for: finite-volume analysis, finite element analysis, finite-difference analysis (with adaptive grids), gridless methods, methods of increased order of accuracy, mixed-type methods, one-dimensional (system) analysis, uncertainty analysis, optimization, dimensionality reduction, multidisciplinary models, visualization, integration, as well as solving highly specialized problems.

Об эволюции орбит в круговой ограниченной задаче трех тел со световым

давлением. Внутренняя задача

Красильников П.С., Доброславский А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Исследование эволюции орбиты малой планеты Церера в рамках дважды усредненной круговой ограниченной задачи трех тел впервые было проведено К. Гауссом в 1809 г. [1]. В статье Аксенова Е.П. [2] в 1967 получена явная формула для усредненной силовой функции задачи с использованием некоторых специальных функций, введенных в рассмотрение самим автором. В статье Вашковьяк М.А. [3] в 1981 г. численно исследована топология орбит для внутренней круговой задачи трех тел.

Рассмотрена пространственная ограниченная круговая задача трех тел в нерезонансном случае. Предполагается, что пассивно гравитирующее тело (спутник) имеет большую парусность, поэтому учитывается световое давление. Изучение эволюции орбиты спутника проводится на основе схемы Гаусса: исследуются дважды усредненные уравнения движений в кеплеровском фазовом пространстве, когда в качестве невозмущенной орбиты берется

кеплеровский эллипс с фокусом в притягивающем теле (Солнце), и находящийся внутри сферы, радиус которой равен радиусу орбиты внешней планеты (внутренний вариант задачи трех тел).

Известно, что аналитическое исследование интегрируемой усредненной модели в классическом случае, когда световым давлением пренебрегают, сталкивается с немалыми трудностями ввиду отсутствия аналитического описания усредненной силовой функции [3]. Показано, что эта функция допускает, на основе применения формулы Парсевала, явное аналитическое представление через обобщенные гипергеометрические функции. Показано также, что усредненные уравнения движений, учитывающие дополнительно влияние светового давления, интегрируются: сохраняют постоянные значения большая полуось орбиты спутника, усредненная силовая функция задачи, имеет место классический интеграл Лидова-Козаи. Для хилловского случая, когда значения большой невозмущенной полуоси орбиты спутника меньше расстояния до Юпитера, проведено исследование стационарных режимов, построены фазовые портреты колебаний при разных значениях коэффициента δ светового давления и фиксированном значении константы интеграла Лидова-Козаи.

В сравнении с классической задачей трех тел получены новые результаты: появляется дополнительное семейство равновесий с бифуркациями, фазовые портреты колебаний содержат гиперболические стационарные точки при некоторых значениях коэффициента δ . Бифуркации наблюдаются при $\delta \sim 10^{-9}$, что отвечает парусности обычных спутников с солнечными панелями.

Результаты проведенных исследований являются актуальными для задач космодинамики и динамики планет [4-6].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-01-00820.

Литература:

1. J.C.F. Gauß *Theoria Motus Corporum Coelestium in sectionibus conicis solem ambientium*, 1809
2. Е.П. Аксенов, “Осредненная ограниченная круговая задача трех тел”, Тр. ун-та дружбы народов им. П. Лумумбы Т. 21, с. 184–202, 1967
3. Васьковьяк М.А. Эволюция орбит в ограниченной круговой двукратно осредненной задаче трех тел // Космические исследования. Т.19. Вып. 1. 1981. С. 5-18
4. Kondratieva L. Computational model for satellite periodic motion// (2019) AIP Conference Proceedings 2181, pp. 020002
5. Krylov S., Perepelkin V., Filippova A. Short-term prediction of universal time variations dUT1// (2019) AIP Conference Proceedings 2181, pp. 020023
6. Буров А.А., Косенко И.И., Шалимова Е.С. Об относительных равновесиях массивной точки на равномерно вращающемся астероиде // Доклады Академии наук. 2017. Т. 475. № 3. С. 269-272.

On the evolution of orbits in the circular restricted three-body problem with light pressure.

Internal problem

Krasilnikov P.S., Dobroslavskiy A.V.

MAI, Moscow, Russia

The study of the orbit evolution of the planetoid Ceres in the doubly averaged circular restricted three-body problem was first carried out by C. Gauss in 1809 [1]. In the article [2], an explicit averaged force function of the problem was obtained. The author used some special functions in the form of quadratures. The evolving orbit topology for the internal circular three-body problem is investigated numerically in the article [3].

The space restricted circular three-body problem is considered in the non-resonant case. It is assumed that massless point (satellite) has a large windage so the light pressure is taken into account. We study evolution of the satellite's orbits by the Gauss method: the doubly averaged equations in the ceplerian phase space are investigated provided that the unperturbed orbit is a ceplerian ellipse with the Sun at a focus. It is also assumed that the unperturbed orbit is inside a

sphere whose radius is equal to the radius of the outer planet's orbit (internal version of the three-body problem).

It is well known that the study of the averaged equations in the classical three-body problem faces difficulties due to the lack of an analytical formula for the averaged perturbing function [3]. We showed that this function has an explicit analytical formula using generalized hypergeometric functions. By Parseval's formula and Wolfram Mathematica, we got this result. It is also shown that the averaged equations of motion are integrated if the light pressure is taken into account. The first integrals are as follows: the semi-major axis of the satellite orbit, the averaged perturbing force function, the classical Lidov-Kozai integral. For the Hill case, when the values of the unperturbed semi-major axis of the satellite orbit are less than the distance to Jupiter, a study of stationary motions was carried out. Phase portraits of oscillations are constructed for different values of the light pressure coefficient δ and some fixed value of Lidov-Kozai integral.

In comparison with the classical three-body problem, new results are obtained. First, there are two families of equilibria with bifurcations. Second, the phase portraits of oscillations contain hyperbolic stationary points. Bifurcations take place at $\delta \sim 10^{-9}$, which corresponds to the windage of conventional satellites with solar panels.

The studies of the internal version of the three-body problem are especially important in problems of cosmodynamics and planetary dynamics [4-6].

Our research was partially financed by the grant 18-01-00820 from the Russian Foundation for Basic Research

References:

1. J.C.F. Gauß *Theoria Motus Corporum Coelestium in sectionibus conicis solem ambientium*, 1809
2. E. P. Aksenov, "The averaged restricted circular three-body problem", Proceedings of UDN University V. 21, p. 184-202, 1967
3. Vashkovjak M.A. Evolution of orbits in a bounded circular doubly averaged three-body problem // *Cosmic Research*. V.19. No 1, 1981, P. 5-18
4. Kondratieva L. Computational model for satellite periodic motion// (2019) AIP Conference Proceedings 2181, pp. 020002
5. Krylov S., Perepelkin V., Filippova A. Short-term prediction of universal time variations dUT1// (2019) AIP Conference Proceedings 2181, pp. 020023
6. Burov A.A., Kosenko I.I., Shalimova E.S. On relative equilibria of a massive point on a uniformly rotating asteroid // *Doklady Akademii Nauk*. 2017. Vol. 475. No. 3. P. 269-272.

Предсказание сдвиговой прочности Al-Cu сплава с помощью многомасштабной модели

Красников В.С., Майер А.Е., Погорелко В.В., Латыпов Ф.Т.
ЧелГУ, г. Челябинск, Россия

В системе алюминия с медью хорошо известна последовательность упрочняющих фаз, формирующихся в ходе старения: твердый раствор, ГП зоны, θ'' , θ' и θ фазы. Механизм взаимодействия дислокации и упрочнившего включения зачастую остается неизвестным.

МД расчеты с реалистичными потенциалами взаимодействия становятся все более востребованными в физическом материаловедении, поскольку позволяют наблюдать микромеханизмы пластичности и получать их численные характеристики.

Проведено МД исследование взаимодействия краевой дислокации с основными типами упрочняющих фаз, характерных для Al-Cu системы. За исключением ГП зон, первые взаимодействия дислокаций с препятствиями происходят путем формирования петли Орована, ГП зона перерезается дислокациями при первом взаимодействии. При последующих взаимодействиях дислокации с неперерезанным включением происходит рост сдвиговых напряжений, действующих на включение, после чего становится возможным перерезание даже таких прочных включений как θ' фаз. Продолжительная пластическая деформация в итоге ведет к снижению напряжения течения в такой системе.

Построена модель движения дислокации в среде, содержащей упрочняющее включение. Для чистого кристалла записано уравнения движения, учитывающее фоннное сопротивление движению дислокации, а также вклад напряжения Пайерлса. При взаимодействии дислокации с препятствием в уравнениях модели дополнительно возникают слагаемые, описывающие формирование новых дислокационных сегментов вокруг включения. Из сравнения с МД расчетами определена энергия дополнительных сегментов в зависимости от типа упрочняющей фазы. Разупрочнение включений в ходе продолжительной пластической деформации учтено путем введения эффективного радиуса включения, уменьшающегося со временем.

Для описания макроскопических напряжений используется модель дискретной дислокационной динамики (ДДД). В ДДД введены взаимодействия с препятствиями разных размеров, подчиняющихся статистике, наблюдаемой в реальных сплавах. Полученные напряжения течения в сплаве хорошо согласуются с экспериментальными данными по нагружению сплавов алюминия с медью в динамических режимах. Показано, что в такой системе локализация пластического течения связана с неоднородностью распределения упрочняющих частиц в пространстве, что ведет к появлению областей с локально пониженным сопротивлением пластическому течению.

Работа поддержана РФФ (проект № 18-71-10038) и Министерством науки и высшего образования (гос. задание № 3.2510.2017/4.6).

Prediction of yield strength of Al-Cu alloy with multiscale modeling

Krasnikov V.S., Mayer A.E., Pogorelko V.V., Latypov F.T.

CSU, Chelyabinsk, Russia

In Al-Cu system, the sequence of hardening phases is well known: solid solution, GP zones, θ'' , θ' and θ phases. The mechanism of interaction of dislocation and hardening phases often remains unknown. MD calculations with realistic potentials are becoming more popular in materials science, since they allow observing the mechanisms of plasticity and obtaining their numerical characteristics.

MD study of interaction of edge dislocation with main types of hardening phases characteristic of the Al-Cu system was carried out. With the exception of the GP1 zones, the first interactions of dislocations with obstacles occur through the formation of the Orowan loop; the GP1 zone is cut by dislocation during the first interaction. In subsequent interactions of a dislocation with an uncut inclusion, an increase in shear stresses acting on the inclusion occurs, after which it becomes possible to cut even such strong inclusions as θ' phases. Prolonged plastic deformation leads to a decrease in the flow stress in system.

A model of dislocation motion in a medium containing a hardening inclusion is constructed. For a pure crystal, the equations of motion are written, taking into account the phonon resistance to the motion of the dislocation, as well as the contribution of the Peierls stress. When a dislocation interacts with an obstacle, the model equations additionally contain terms that describe the formation of new dislocation segments around the inclusion. From a comparison with MD calculations, the energy of additional segments was determined depending on the type of the hardening phase. The softening of inclusions during long-term plastic deformation is taken into account by introducing an effective radius of the inclusion, which decreases with time.

The discrete dislocation dynamics (DDD) is used to describe macroscopic stresses. In DDD, interactions with obstacles of different sizes are introduced, obeying the statistics observed in real alloys. The obtained flow stresses in the alloy are in good agreement with experimental data on loading of aluminum-copper alloys in dynamic modes. It is shown that in such a system the localization of plastic flow is associated with the inhomogeneity of the distribution of strengthening particles in space, which leads to the appearance of regions with a locally lowered resistance to plastic flow.

This work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 18-71-10038) and the Ministry of Science and Higher Education (state task No. 3.2510.2017 / 4.6).

Математическое моделирование и методы планирования выполнения пакетов заданий в многостадийных системах при условии формирования комплектов

Кротов К.В.

СевГУ, г. Севастополь, Россия

В настоящее время являются актуальными задачи планирования выполнения пакетов заданий (ПЗ) в многостадийных системах (МС) при условии формирования комплектов из результатов. Необходимость формирования ПЗ связана с наличием наборов однотипных заданий, которые характеризуются неоднородностями длительностей их выполнения на приборах МС и длительностей переналадок приборов на их выполнение. Анализ существующих математических моделей процесса выполнения ПЗ в МС, методов планирования этого процесса показал, что указанные задачи являются не проработанными.

Задача планирования выполнения ПЗ в МС является комплексной, ее решение предусматривает определение эффективных составов пакетов и расписаний их выполнения на приборах МС. Проведена декомпозиция обобщенной функции системы планирования выполнения ПЗ в МС, которая позволила определить ее подфункции, реализуемые на различных уровнях иерархии. На верхнем уровне иерархии реализуется определение составов пакетов, на нижнем – определение расписаний выполнения пакетов. Для определения эффективных решений по составам ПЗ и расписаниям их выполнения применен аппарат теории иерархических игр.

Рассмотрены две задачи планирования выполнения ПЗ в МС. Первая задача – планирование оперативного выполнения ПЗ, предусматривающее минимизацию временных затрат на формирование комплектов из результатов. В этом случае критерий на верхнем уровне иерархической игры характеризует среднее время формирования комплектов, критерий на нижнем уровне – суммарные простои приборов МС при выполнении ПЗ. Вторая задача – планирование процесса выполнения ПЗ с учетом задаваемых директивных сроков формирования комплектов. В этом случае критерий на верхнем уровне – суммарное запаздывание с формированием комплектов, критерий на нижнем уровне аналогичен критерию первой задачи. С целью идентификации составов ПЗ на верхнем уровне применен метод определения локально оптимальных решений внутри окрестностей [1]. Для определения значений критериев на верхнем уровне, характеризующих составы ПЗ, предложены методы упорядочивания идентификаторов типов комплектов (по сложности формирования комплектов в первой задаче и в соответствии с директивными сроками во второй задаче) и распределения результатов выполнения ПЗ по комплектам. Применение метода оптимизации составов ПЗ [1] позволило получить результаты, являющиеся в среднем на 50% (в первой задаче) и на 65% (во второй задаче) более эффективными, чем результаты, использующие фиксированные пакеты (т.е. пакеты, составы которых не изменяются и включают все заданий, входящие в наборы соответствующих типов).

В соответствии с поставленной задачей планирования выполнения ПЗ в МС при условии формирования комплектов из результатов разработаны модели иерархических игр, позволяющие оптимизировать составы пакетов и расписания из выполнения при учете: оперативного формирования комплектов (минимизируется среднее время формирования комплектов) и заданных директивных сроков формирования комплектов. Разработаны алгоритмы упорядочивания идентификаторов комплектов и распределения результатов выполнения ПЗ по комплектам, позволяющие выполнить оценку эффективности сформированных решений по составам ПЗ на верхнем уровне системы планирования.

Литература:

1. Кротов К.В. Комплексный метод определения эффективных решений по составам партий данных и расписаниям их обработки в конвейерных системах.// Журнал «Вычислительные технологии», Новосибирск, Изд-во Института вычислительных технологий СО РАН, № 3, 2018. с.58-76.

Mathematical modeling and methods for planning the execution of task packages in multi-stage systems under the condition of generating sets

Krotov K.V.

SevSU, Sevastopol, Russia

Currently, the tasks of planning the execution of task packages (TP) in multi-stage systems (MS) are relevant, provided that sets are formed from the results. The need to form a task packages is associated with the presence of sets of the same type of tasks, which are characterized by inhomogeneities in the duration of their execution on MS devices and the duration of device changeovers for their execution. The analysis of existing mathematical models of the process of performing the task packages in MS, methods of planning this process showed that these tasks are not worked out.

The task of planning the implementation of task packages in MS is complex, its solution involves determining the effective composition of packages and schedules for their implementation on MS devices. The decomposition of the generalized function of the system for planning the implementation of the task packages in MS, which allowed us to determine its subfunctions implemented at different levels of the hierarchy. At the top level of the hierarchy, the definition of package compositions is implemented, and at the lower level, the definition of package execution schedules is implemented. To determine effective solutions based on the composition of task packages and their execution schedules, the apparatus of the theory of hierarchical games is used.

Two tasks of planning the implementation of the TP in MS are considered. The first task is to plan the operational implementation of the task packages, which provides for minimizing the time spent on forming sets of results. In this case, the criterion at the upper level of the hierarchical game characterizes the average time of formation of sets, the criterion at the lower level– the total downtime of devices MS when performing the task packages. The second task is to plan the process of implementing of task packages, taking into account the specified policy deadlines for the formation of sets. In this case, the criterion at the upper level is the total delay in generating sets. The criterion at the lower level is similar to the criterion for the first task. The method of determining locally optimal solutions within the vicinity is used to identify the compositions of the upper-level. To determine the values of the criteria at the top level, characterize the compositions of the task packages proposed methods to order type ID's sets (for the complexity of the sets in the first task and in accordance with the legislative terms in the second task) and the distribution of execution results of task packages sets. The use of the method for optimizing the composition of the task packages allowed us to obtain results that are on average 50% more effective (in the first problem) and 65% more effective (in the second problem) than the results using fixed packages (packages that do not change their composition and include all tasks that are comprised in the corresponding sets).

In accordance with the task scheduling of TP in MS, under condition of formation of the sets of results of the developed model of hierarchical games that allow to optimize the composition of the packages and the schedule of the execution at the account: prompt the formation of sets (minimizing the average time of formation of sets) and set legislative deadlines for the formation of sets. Algorithms have been developed for ordering types sets and distributing the results of the TP execution by sets, which allow evaluating the effectiveness of the generated solutions for compositions at the top level of the planning system.

References:

1. Krotov K.V. A complex method for determining effective solutions for the composition of data batches and schedules of their processing in conveyor systems. // Computational technologies, Publishing house Of the Institute of computational technologies SB RAS, Volume 23, No. 3, 2018. pp. 58-76 (In Russian).

Инструменты математического моделирования процессов горения и их приложение

¹Крюков В.Г., ³Наумов В.И., ²Демин А.В., ¹Абдуллин А.Л.

¹КНИТУ-КАИ, ²КГЭУ, г. Казань, Россия

³Центральный университет штата Коннектикут, г. Новая Британия, США
г. Казань, Россия

Задачи математического моделирования процессов горения как правило являются очень сложными и для их решения (наряду с уравнениями химической кинетики, алгоритмом их расчета и соответствующим программным кодом) используются разнообразные процедуры, которые обеспечивают: упрощение симуляции явлений, выявление особенностей процессов горения, надежность получения результатов, уменьшение объема расчетов и т.д.

В настоящем докладе изложен ряд таких инструментов моделирования, созданных или усовершенствованных авторами [1], и даны примеры их применения при решении некоторых задач горения. В частности:

- Описана процедура конверсии и сравнения термодинамических свойств индивидуальных химических веществ, содержащихся в независимых базах данных: IVTANTERMO, BURCAT и TTI. Даны примеры расхождения между данными этих баз для ряда веществ из продуктов топлив ДЛА.

- Представлен алгоритм определения коэффициентов чувствительности веществ реагирующей системы по отношению к константам скорости реакций. Эти коэффициенты вычисляются аналитически, что позволило провести анализ чувствительности очень близко к точкам бифуркации и линиям прекращения горения и выявить особенности изменения коэффициентов в этих зонах.

- Рассмотрен инструмент расчета собственных значений уравнений химической кинетики. Даны примеры его применения для прогнозирования числа шагов интегрирования при использовании явных схем, а также для идентификации режимов автоколебаний кинетической природы для сложных механизмов реакции.

- Представлена процедура сокращения механизмов реакций, включающая комбинацию метода зацепления с адаптивным порогом и метода DRGEP (ориентированный граф с распространением ошибок). Инструмент, генерирующий сокращенный механизм в ходе расчета процесса горения, был применен к задаче сокращения механизма возгорания реагирующей системы в реакторе и к задаче расчета химически неравновесных течений в соплах ЖРД и РДТТ.

Литература:

1. Naoumov V. I., Krioukov V. G., Abdullin A.L., Demin .A.V. "Chemical Kinetics in Combustion and Reactive Flows: Modeling Tools and Applications" Ed. «Cambridge University Press». Cambridge, 2019, 442p.

Tools for mathematical modeling of combustion processes and their application

¹Krioukov V.G., ³Naoumov V.I., ²Demin A.V., ¹Abdullin A.L.

¹KNRTU- KAI, ²KSPEU, Kazan, Russia

³Central Connecticut State University, New Britain, USA

The objectives of mathematical modeling of combustion processes are usually very complex. Along with such components, as equations of chemical kinetics with algorithms for their calculation and relevant program codes, various procedures are used to achieve these objectives, aiming to simplify the phenomena simulation, identify special characteristics of combustion processes, enhance reliability of obtained results, and lower the time of calculation.

This report presents several such modeling tools created or improved by the authors [1] and examples of their application in solving some combustion objectives. In particular:

- The procedure for conversion and comparison of thermodynamic properties of individual chemical substances available from independent databases, such as IVTANTERMO, BURCAT and TTI, is described. The examples of discrepancies observed in the data from these databases for a number of substances from the products of combustion of aircraft engine fuels are given;

- The algorithm for determining sensitivity coefficients of substances in the reacting system in relation to the reaction rate constants is presented. These coefficients are calculated analytically, which made it possible to conduct the sensitivity analysis very close to bifurcation points and lines of extinction of combustion and to describe the changes in the coefficients in these zones;

- The tool for calculating eigenvalues of the equations of chemical kinetics is proposed, accompanied with the examples of its application for predicting the number of integration steps when using explicit schemes, as well as for identifying modes of self-oscillations of kinetic nature for complex reaction mechanisms.

- The procedure for reducing reaction mechanisms is presented, including the combination of the engagement method with the adaptive threshold and the DRGEP method (the directed relation graph with error propagation). The tool generates a reduced mechanism in the course of calculating the combustion process and has been applied to the problem of reduction the ignition mechanism of the reacting system in a reactor, as well as to the problem of calculating chemically nonequilibrium flows in nozzles of rocket engines.

References:

1. Naoumov V. I., Krioukov V. G., Abdullin A. L., Demin A. V. "Chemical Kinetics in Combustion and Reactive Flows: Modeling Tools and Applications" Ed. «Cambridge University Press». Cambridge, 2019, 442 p.

Программный пакет для реализации сильных численных методов порядков точности 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 и 3,0 для СДУ Ито с некоммутативным многомерным шумом

¹Кузнецов Д.Ф., ²Кузнецов М.Д.

¹СПбПУ, ²СПбЭТУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Работа посвящена разработке программного комплекса для численного интегрирования стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) Ито с многомерным и некоммутативным шумом сильными методами высоких порядков точности. Как известно, СДУ Ито являются адекватными математическими моделями динамических систем различной физической природы. В основу программного комплекса были положены новые теоретические результаты по численным методам для СДУ Ито, основанные на унифицированных разложениях Тейлора-Ито и Тейлора-Стратоновича, а также кратных рядах Фурье-Лежандра. Представлены численные методы порядков точности 0.5 (метод Эйлера), 1.0 (метод Мильштейна), 1.5, 2.0, 2.5 и 3.0. Программный комплекс был реализован на языке программирования Python. Разработка проводилась в текстовом редакторе Atom. В разработке программного комплекса были задействованы такие библиотеки, как SymPy, NumPy и Plotly. Все эти библиотеки и инструменты являются бесплатными и открытыми. Корневой пакет программы отвечает за запуск и вывод результатов. Пакет ввода программы зависит от Plotly, поскольку он принимает данные после моделирования и передает их в модель данных Plotly. Затем Plotly обрабатывает полученные данные и строит графики. Далее следует пакет моделирования, который отвечает за все операции, связанные с моделированием, включая инициализацию среды моделирования, циклы вычислений и многое другое. Также он использует модуль точности, решающий, какое количество элементов должно быть задействовано в процессе моделирования решения СДУ Ито в каждом численном методе. Модуль расчета точности принимает порядок сильной численной схемы и шаг интегрирования, а затем вычисляет необходимое количество членов в аппроксимациях повторных стохастических интегралов Ито и Стратоновича. Модуль символьной алгебры – это часть, которая сочетает в себе вычисление дополнительных дифференциальных операторов и выражений для численных схем. Объединяя эти компоненты, модуль символьной алгебры выполняет упрощение и компиляцию формул, для того чтобы пакет моделирования мог завершить работу по моделированию. База данных использовалась для хранения предварительно рассчитанных 270000 коэффициентов Фурье-Лежандра, потому что такой способ хранения обеспечил более быстрый доступ. В результате численное моделирование стало намного быстрее, чем при вычислении

коэффициентов на лету. Загрузка предварительно рассчитанных коэффициентов встроена в дополнительные подпрограммы для обеспечения работы конвейера расчета.

Литература:

1. Kuznetsov, M.D., Kuznetsov D.F. Implementation of strong numerical methods of orders 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, and 3.0 for Ito SDEs with non-commutative noise based on the unified Taylor-Ito and Taylor-Stratonovich expansions and multiple Fourier-Legendre series. arXiv:2009.14011 [math.PR], 2020, 188 pp. [In English].

2. Kuznetsov, M.D., Kuznetsov D.F. Optimization of the mean-square approximation procedures for iterated Ito stochastic integrals of multiplicities 1 to 5 from the unified Taylor-Ito expansion based on multiple Fourier-Legendre series arXiv:2010.13564 [math.PR], 2020, 50 pp. [In English].

A software package for Implementation of strong numerical methods of convergence orders 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, and 3.0 for Ito SDEs with non-commutative multi-dimensional noise

¹Kuznetsov D.F., ²Kuznetsov M.D.

¹SPbPU, ²SPbETU, Saint-Petersburg, Russia

The work is devoted to the development of a software package for the numerical integration of Ito stochastic differential equations (SDEs) with multidimensional and non-commutative noise by strong methods of high orders of accuracy. It is known that Ito SDEs are adequate mathematical models of dynamical systems of various physical nature. The software package is based on new theoretical results on strong numerical methods for the Ito SDEs. More precisely, we use the unified Taylor-Ito and Taylor-Stratonovich expansions, as well as multiple Fourier-Legendre series. Numerical methods of orders of accuracy 0.5 (Euler method), 1.0 (Milstein method), 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 are presented. The software package was implemented with the Python programming language. The development was performed in Atom text editor. In the development of software package such libraries as SymPy, NumPy and Plotly were involved. All these libraries and tools are free and open source. The program entry package is responsible for startup and results output. Program entry package depends on Plotly because it accepts data after modeling and passes it into the Plotly data model. Then Plotly converts the received data and prints charts. Moving further by modeling pipeline the modeling package comes up. This package is responsible for all work referenced to modeling including initialization of modeling environment, calculations loops and more. This module depends on the accuracy calculation module deciding which amount of members in each approximation of iterated Ito or Stratonovich stochastic integral should be used in the modeling process of Ito SDE solution. Accuracy calculation module accepts order of strong numerical scheme and integration step and then calculates necessary amount of members in approximations of iterated Ito and Stratonovich stochastic integrals. Symbolic algebra module is the constructing part, which combines many supplementary differential operators with strong numerical schemes. Having these components combined this module performs simplification so the modeling package can do its modeling work. The database was used to store the 270,000 of precalculated Fourier-Legendre coefficients, so getting them from there made numerical modeling much faster, than their calculation on the fly. The download of precalculated Fourier-Legendre coefficients is built in supplemental subprograms to provide a fluent calculation pipeline.

References:

1. Kuznetsov, M.D., Kuznetsov D.F. Implementation of strong numerical methods of orders 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, and 3.0 for Ito SDEs with non-commutative noise based on the unified Taylor-Ito and Taylor-Stratonovich expansions and multiple Fourier-Legendre series. arXiv:2009.14011 [math.PR], 2020, 188 pp. [In English].

2. Kuznetsov, M.D., Kuznetsov D.F. Optimization of the mean-square approximation procedures for iterated Ito stochastic integrals of multiplicities 1 to 5 from the unified Taylor-Ito expansion based on multiple Fourier-Legendre series arXiv:2010.13564 [math.PR], 2020, 50 pp. [In English].

Моделирование коллапса нанопор в металлах при высокоскоростном сжатии

Латыпов Ф.Т.

ЧелГУ, г. Челябинск, Россия

Интерес к поведению материалов при высоких скоростях механического нагружения традиционно высок как из-за фундаментальных, так и прикладных аспектов. Одним из важных частных случаев является динамическое сжатие пористых металлов. Сжатие поры требует дополнительной работы по пластическому деформированию материала в ее окрестности. По этой причине, с одной стороны, пористые образцы используются для исследования состояний ударно сжатого вещества при повышенных температурах, с другой стороны, они являются эффективными поглотителями энергии ударных волн и могут использоваться в защитных конструкциях. Особую значимость информация о механическом поведении пористых сред приобретает в связи с развитием аддитивных технологий, позволяющих получать изделия с управляемой микроструктурой. Для математического моделирования распространения ударных волн в пористых материалах важным является разработка микромеханической модели коллапса пор и отклика пористой среды на динамическое сжатие [1].

Нами проведено молекулярно-динамическое (МД) моделирование динамического компактирования ряда пористых металлов: меди, магния, титана и железа. Для простоты анализа результатов рассмотрен изотермический случай и сжатие с постоянной скоростью деформации. Результаты МД моделирования используются для проверки применимости и калибровки дислокационной модели пластического изменения размера поры, предложенной в работе [2]. Рассматривается как динамика изменения размера поры, так и механическая реакция пористой среды на сжатие.

Литература:

1. Czarnota C., Molinari A., Mercier S. The structure of steady shock waves in porous metals // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. – 2017. – V. 107. – P. 204-228.
2. Krasnikov V.S., Mayer, A.E. Plasticity driven growth of nanovoids and strength of aluminum at high rate tension: Molecular dynamics simulations and continuum modeling // *International Journal of Plasticity*. – 2015. – V. 17. – P. 75-91.

Simulation of nanopore collapse in metals at high-rate compression

Latypov F.T.

CSU, Chelyabinsk, Russia

Interest in the behavior of materials at high rate mechanical loading is traditionally high, both due to fundamental and applied aspects. One of the important special cases is the dynamic compression of porous metals. Collapse of pore requires additional work on plastic deformation of the material in its vicinity. For this reason, on the one hand, porous samples are used to study the states of shock-compressed matter at elevated temperatures, on the other hand, they are effective absorbers of shock wave energy and can be used in protective structures. Information on the mechanical behavior of porous media is of particular importance in connection with the development of additive technologies, allowing to obtain products with controlled microstructure. For mathematical modeling of the propagation of shock waves in porous materials, it is important to develop a micromechanical model of pore collapse and the response of a porous medium to dynamic compression [1].

We have carried out molecular dynamics (MD) modeling of dynamic compaction of a number of porous metals: copper, magnesium, titanium and iron. For ease of analysis of the results, the isothermic case and compression with a constant strain rate are considered.

The results of MD simulation are used to verify the applicability and fit the parameters of the dislocation model of plastic change in the pore size, proposed in the work [2]. Both the dynamics of the change in the pore size and the mechanical reaction of the porous medium to compression are considered.

References:

1. Czarnota C., Molinari A., Mercier S. The structure of steady shock waves in porous metals // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. – 2017. – V. 107. – P. 204-228.
2. Krasnikov V.S., Mayer, A.E. Plasticity driven growth of nanovoids and strength of aluminum at high rate tension: Molecular dynamics simulations and continuum modeling // *International Journal of Plasticity*. – 2015. – V. 17. – P. 75–91.

К решению регуляризированной задачи Стефана в рамках термодинамической модели обледенения

Левин М.П., Иванов А.В., Стрижак С.В., Стенина Т.В.
ИСП РАН, г. Москва, Россия

Задача Стефана – это краевая задача для уравнений в частных производных, описывающая изменение фазового состояния вещества, при котором положение границы раздела фаз задается неявно и изменяется во времени. Особенностью решения задачи Стефана является нарушение гладкости коэффициентов дифференциального уравнения на границе фазового перехода. Решение задачи Стефана используется в модели Майерса, предложенной для расчета обледенения самолетов.

В последние годы большое внимание уделяется численному решению задачи Стефана. В работах А.А. Самарского, Б.М. Будака и соавторов предложена процедура сглаживания коэффициентов на границе раздела фаз. Недостатком такого подхода является зависимость точности решения от параметров сглаживания.

А.Ф. Албу и В.И. Зубов [6] предложили итерационную схему первого порядка аппроксимации во времени и второго в пространстве, для задачи Стефана, сформулированной в энтальпийных переменных.

Предлагается еще один метод регуляризации задачи Стефана. Он заключается в том, что на внутренней подвижной границе между фазами условие сопряжения опущено. Для решения этой задачи мы будем использовать гибридную конечно-разностную схему второго порядка с переключением формулы вычисления производных второго порядка в точках на границе раздела фаз. Рассмотрим две конечно-разностные схемы второго порядка аппроксимации. В первой одноуровневой схеме $d2cd$ аппроксимация второй производной осуществляется по центрально-разностной формуле. Во второй гибридной $H2Order$ схеме вторая производная вычисляется по гибридным формулам второго порядка аппроксимации на изменяемом шаблоне в точке фазового перехода.

Расчеты, выполненные алгоритмами $H2Order$ и $d2cd$ и сопоставленные с аналитическим решением [7], показывают, что результаты $H2Order$ -схемы хорошо согласуются с аналитическим решением. Соответствие результатов $d2cd$ -схемы точному решению не очень хорошее. Это показывает, что предложенная регуляризация вместе с гибридной схемой $H2Order$ -это хороший способ решить задачу Стефана проще и быстрее по сравнению с известными подходами. Описанный подход предлагается применить для решения термодинамической задачи моделирования обледенения элементов самолетов с использованием решателя *iceFoam*, разработка ИСП РАН, как развитие моделей [1-3].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-13016.

Литература:

1. T. G. Myers. Extension to the Messinger Model for Aircraft Icing. *AIAA JOURNAL*, vol. 39, No. 2, February 2001.
2. T.G. Myers, J.P.F. Charpin. A mathematical model for atmospheric ice accretion and water flow on a cold surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47 (2004), pp. 5483–5500.
3. Tong Liu, Kun Qu, Jinsheng Cai, Shucheng Pan. A three-dimensional aircraft ice accretion model based on the numerical solution of the unsteady Stefan problem. *Aerospace Science and Technology*. vol. 93, October 2019, 105328. 13 p.

4. Б. М. Буда́к, Е. Н. Соловьёва, А. Б. Успенский, Разностный метод со сглаживанием коэффициентов для решения задач Стефана. Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 1965, том 5, номер 5, 828–840.
5. А. А. Самарский, Б. Д. Моисеенко. Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана. Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 1965, том 5, номер 5, 816–827.
6. А. Ф. Албу, В. И. Зубов. О модификации одной схемы для расчета процесса плавления. Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 2001, том 41, номер 9, 1434–1443.
7. А.Н.Тихонов, А.А.Самарский. Уравнения математической физики. – Наука, Москва, 1972, 736 с.

To the solution of regularized Stefan problem in the framework of the thermodynamic model of icing

Levin M.P., Ivanov A.V., Strijhak S.V., Stenina T.V.
ISP RAS, Moscow, Russia

The Stefan problem is a boundary value problem for partial differential equations that describes the change in the phase state of a substance, in which the position of the interface is implicitly set and changes over time. A main feature of the Stefan problem solution is the violation of the smoothness of the coefficients of the differential equation at the phase transition boundary. The simplified solution of the Stefan problem is used in the Myers [1-2] and Liu [3] models proposed for calculating aircraft icing.

In recent years, a lot of attention paid to numerical solution of Stefan problem. In well-known works of A.A. Samarsky, B.M. Budak and co-authors [4-5], a procedure for smoothing coefficients at a certain interval near the phase transition boundary was proposed. The disadvantage of this approach is the dependence of solution accuracy on the smoothing parameter and the low accuracy of calculating the position of the phase transition boundary.

A.F. Albu and V.I. Zubov proposed [6] an iterative scheme of the first order of approximation in time and the second in space for Stefan problem formulated in enthalpy variables.

A new type of Stefan problem regularization is considered. It consists in omitting of the interface condition on internal moving boundary between phases. To solve the regularized problem we will apply the pure second order finite difference scheme with special switching of the second order derivatives evaluation with respect to spatial variable. We will use two types of finite difference schemes of the second order approximation. The first d2cd-scheme uses central difference approximation of the second derivatives. The second hybrid H2Order-scheme uses approximation of second order derivatives by hybrid formulas of the second order.

The computations provided by H2Order and d2cd algorithms and compared with analytical solution [7] shows that the results of H2Order algorithm are in good correspondence with analytical solution. The correspondence of d2cd algorithm results with exact solution is not so good. This shows that proposed regularization together with hybrid H2Order-scheme is a good way to solve Stefan problem more exactly and faster. The described approach is proposed to be applied to solve the thermodynamic problem of modeling aircraft's icing elements and is an extension of [1-3] approaches using iceFoam solver from ISP RAS.

The reported study was funded by RFBR, project number № 19-29-13016.

References:

1. T. G. Myers. Extension to the Messenger Model for Aircraft Icing. AIAA JOURNAL, vol. 39, No. 2, February 2001.
2. T.G. Myers, J.P.F. Charpin. A mathematical model for atmospheric ice accretion and water flow on a cold surface. International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004), pp. 5483–5500.
3. Tong Liu, Kun Qu, Jinsheng Cai, Shucheng Pan, A three-dimensional aircraft ice accretion model based on the numerical solution of the unsteady Stefan problem. Aerospace Science and Technology. vol. 93, October 2019, 105328. 13 p.

4. B. M. Budak, E. N. Solov'eva, A. B. Uspenskii. A difference method with coefficient smoothing for the solution of Stefan problems. In: USSR Comput. Math. Math. Phys., 5:5 (1965), pp. 59–76.
5. A.A. Samarskii, B.D. Moiseyenko. An economic continuous calculation scheme for the Stefan multidimensional problem. In: USSR Comput. Math. Math. Phys., 5:5 (1965), pp. 43–58.
6. A. F. Albu, V. I. Zubov. A modified scheme for analyzing the process of melting, - In: Journal Comput. Math. Math. Phys., 41:9 (2001), pp.1363–1371.
7. A.N. Tikhonov, A.A. Samarskii. Equations of Mathematical Physics. 1972, 736 p.

Определение налогооблагаемых строений с использованием нейросетевых технологий

Мазаев А.С., Мохов А.И.
МАИ, г. Москва, Россия

На проводимом IT центром МАИ авиахакатоне, центр БПЛА предоставил задачу на определение незаконных построек с использованием датров БПЛА. Классическое решение данной задачи не подразумевает использование каких-либо технологий кроме кадастровой карты, с которой человеку необходимо сравнивать каждую постройку и каждый участок. Такой подход неэффективен, поскольку тратится много времени на обработку каждого участка, а также существуют человеческие факторы, который способны снижать эффективность работы. В то же время при использовании систем БПЛА и нейронных сетей возможно оценивать площадь построек и их положение.

Предлагаемое решение основано на архитектуре MASK-RCNN с основной ResNet50. Сеть способна сегментировать изображение – выделять маски целевых объектов. В качестве базового решения взята предобученная на наборе данных COCO модель, однако её качества недостаточно, и возникла необходимость дообучать сеть на имеющихся данных. Хорошее качество в первую очередь связано с аугментациями, проводимыми на обучающих данных. Поворот изображения, отражение по вертикали и горизонтально, добавление шума – всё это делает сеть устойчивой к изменениям входных данных и решает проблему малой выборки, а вследствие и переобучения (overfitting). Необходимо также отметить метрику, по которой оценивалось качество модели – это отношение площадь пересечения и площади объединения (Intersection over Union). Для задач сегментации данная метрика является одной из самых понятных и в то же время и наиболее важной, когда речь идёт о точном определении местоположения объекта и его границ.

Важной частью является скорость работы алгоритма. С целью повышения производительности можно использовать TensorRT – это SDK от компании Nvidia. TensorRT создан для оптимизации модели и вычислительного графа. Так, по умолчанию все данные хранятся в формате float64, а TensorRT переводит их в float16, следовательно, затраты по памяти минимизируются. Таким образом можно достичь более высоких показателей скорости работы сети в режиме предсказаний (inference).

Наше решение позволяет оператору, который находится на земле и управляет дроном, получать сведения о каждом участке – есть ли на нём строения, которые не находятся в кадастровой карте (то есть не облагаются налогом) или нет. Как результат – минимизируются затраты по времени на каждый участок, при этом отсутствует фактор человеческой ошибки.

Determination of taxable buildings using neural network technologies

Mazaew A.S., Mokhov A.I.
MAI, Moscow, Russia

The MAI UAV center provided an idea for illegal building identification system development using UAV. This idea has been presented as a task for a participants of Aviahackathon (Hackathon featuring MAI IT center). Standard approach to this problem doesn't imply technologies usage – human with a map who controls each section and each building. This approach is inefficient as it is time consuming and error-prone due to large amount of uncertainties caused by human factor. At

at the same time, when using UAV systems and neural networks, it is possible to estimate the area of buildings and their location with high precision.

We introduce a solution based on MASK-RCNN neural net with ResNet50 backbone. This Net is capable to solve instance segmentation problem, i.e. generate segmentation mask for each separate object class presented on an image. We have an COCO pretrained model as a baseline but its overall performance was not enough and it was necessary to finetune an existing model. Such techniques as image rotation, vertical and horizontal flips, blurring called augmentations. These techniques applied to training data make model more robust and push it to find new patterns in the data even if dataset is small. It is also helpful to prevent overfitting. To estimate model quality we use IoU (Intersection over Union). When solving a segmentation problem IoU is the most important and also intuitive metric.

Model performance is the key factor when tackling real world problems. In order to speed-up inference one can use TensorRT – SDK from NVidia. TensorRT allows to optimize model and computational graph. For instance, basic tensorflow models using float64 as default data type, but TensorRT cast all data to float16 data type, therefore memory consumption reduced significantly. These optimizations made by TensorRT allows model achieve better performance in inference mode.

Метод формирования пайплайна алгоритмов для позиционирования автономной сельскохозяйственной техники

Максимов А.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе исследуется задача точного позиционирования сельскохозяйственной техники относительно точки начала движения в процессе выполнения работ. Данная задача должна быть решена для выполнения операций оценки состояния поля, точного внесения удобрений и других операций, возникающих при внедрении методов точного земледелия.

В данной работе рассматривается комплексирование информации с оптической камеры с данными от одометра и глобальной навигационной системы для позиционирования обычного и автономного сельскохозяйственного транспорта. Для обработки информации из различных источников данных предлагается собирать пайплайн алгоритмов обработки, таким образом, чтобы он наилучшим образом соответствовал текущим условиям окружающей среды, в которой в данный момент находится сельскохозяйственный агрегат.

Работа алгоритма позиционирования, использующего визуальное распознавание, в типичных условиях работы сельскохозяйственной техники, должна учитывать следующие особенности:

- Присутствие в кадре больших областей с однородными текстурами.
- Различные условия освещенности.
- Наличие в кадре других движущихся сельскохозяйственных машин.
- Отсутствие удаленных контрастных ориентиров.

В докладе рассматриваются вопросы комплексирования информации из различных источников в рамках единого алгоритма позиционирования, а также интеллектуальной фильтрации характеристических точек для исключения помех от подвижных объектов.

В результате исследований было разработано программное решение для гибкого формирования цепочки алгоритмов, обеспечивающее подходящее решение для конкретных условий работы сельскохозяйственного агрегата, и позволяющее минимизировать требования к аппаратному обеспечению.

В качестве ключевого узла пайплайна алгоритмов обработки, в работе рассматривается алгоритм orb-slam, который дополняется данными из других источников информации.

Для тестирования разработанных алгоритмов проводились натурные испытания, а также использовался открытый датасет для тестирования автономных сельскохозяйственных машин FiledSafe. Проверка алгоритмов проводилась на монокулярных видео, видео со стерео камер и камер с обзором на 360 градусов.

Результаты тестирования показывают, что использование настраиваемого пайплайна алгоритмов позволяет повысить среднюю точность позиционирования и без повышения требований к аппаратному обеспечению.

Method of assembling visual positioning pipeline for autonomous agricultural vehicles

Maximov A.N.

MAI, Moscow, Russia

The paper examines the problem of accurate relative positioning of agricultural machinery in the process of work. This task should be solved to provide the possibility to assess the state of the field, accurately apply fertilizers, and perform other operations that occur when implementing precision farming methods.

In this paper, I consider the integration of information from an optical camera with data from an odometer and GPS for positioning conventional and autonomous agricultural vehicles.

Considerable attention is paid to issues related to ensuring the operation of the algorithm in typical operating conditions of agricultural machinery, which have the following features:

- Presence of large areas with uniform textures in the frame
- Different light conditions
- Presence in the frame of other moving agricultural machines
- Lack of contrast of remote targets.

The report discusses the issues of combining information from various sources within a single positioning algorithm, as well as intelligent filtering of characteristic points to eliminate interference from moving objects.

As a result of research, a software solution was developed for the flexible assembling of a pipeline of algorithms that provide a suitable solution for specific operating conditions of an agricultural vehicle, and allows minimizing hardware requirements for control system.

The orb-slam algorithm is considered as a key node of pipeline processing, which is supplemented with data from other information sources.

To test the developed algorithms, field tests were conducted, and an open dataset named FiledSafe was used. The algorithms were tested on monocular videos, video from stereo cameras, and 360-degree cameras.

Testing results show that using a custom pipeline of algorithms allows you to increase the average positioning accuracy without increasing hardware requirements.

Извлечение логических закономерностей из наблюдений для моделирования и классификации объектов на основе разнотипной информации

Масич И.С., Виденин С.А.

СФУ, г. Красноярск, Россия

Рассматриваются вопросы обработки и анализа данных, представляющих описание наблюдений за состоянием и поведением объектов. Описание состоит из разнотипной информации, а также характеризуется недостатком априорной информации. Среди описательной информации имеется главный признак, по которому наблюдения делятся на группы или классы. Связь между значениями остальных описывающих признаков и главным признаком (классом) в явном виде не известна, и ее выявление составляет предмет данного исследования.

Извлечение закономерностей по данным наблюдений предназначено для моделирования состояния и поведения объектов и для поддержки принятия решений при управлении этими объектами. Логические закономерности или правила представляют собой логические высказывания в виде условий и сравнений значений признаков с вычисляемыми пороговыми значениями, при этом характерные для конкретной группы объектов (наблюдений) [1].

В работе производится нахождение оптимальных логических правил, представляющих собой набор конъюнкций значений признаков (или сравнений признаков с определенным пороговым значением). Оптимальность заключается в том, что найденные правила должны обладать наибольшей обобщающей способностью [2], то есть подтверждаться наибольшим числом прецедентов. В условиях большого объема данных эта задача представляет собой

вычислительно трудоемкую задачу оптимизации. Предлагаемый в работе подход основан на использовании нового алгоритма комбинаторной оптимизации, реализующего свойства рассматриваемого класса задач [3].

Применение разработанных алгоритмов оптимизации позволяет находить закономерности с большей обобщающей способностью. Совокупность найденных закономерностей используется для построения «прозрачной» модели группировки объектов.

Моделирование в виде набора логических закономерностей позволяет решать задачи: выявление наиболее влияющих признаков и определение их пороговых значений; выявление наборов признаков, комбинаторно влияющих на состояние и группировку объектов; определение наиболее типичных состояний объектов; выявление нетипичных объектов и устранение «выбросов»; классификация объектов по группам; выявление «новых» (скрытых) групп объектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (код научной темы FSRZ-2020-0011).

Литература:

1. Bonates T.O., Hammer P.L., Kogan A. Maximum patterns in datasets. // *Discrete Appl. Math.* 156, 2008, P. 846-861.
2. Hammer P.L., Kogan A., Simeone B., Szedmak S. Pareto-optimal patterns in logical analysis of data. // *Discrete Appl. Math.* 144, 2004, P. 79-102.
3. Kazakovtsev L.A., Masich I.S. A branch-and-bound algorithm for a pseudo-boolean optimization problem with black-box functions. // *Facta Universitatis, Series Mathematics and Informatics*. Vol. 33. No 2 (2018). P. 337-360.

Extraction of logical patterns from observations for modeling and classifying objects on the basis of heterogeneous information

Masich I.S., Videnin S.A.
SibFU, Krasnoyarsk, Russia

We consider issues of processing and analysis of data representing the description of observations of the state and behavior of objects. The description consists of different types of information, and is also characterized by a lack of a priori information. Among the descriptive information, there is the main feature by which observations are divided into groups or classes. The relationship between the values of the remaining descriptive features and the main feature (class) is not explicitly known, and its identification is the subject of this study.

Extraction of patterns from observational data is intended to model the state and behavior of objects and to support decision-making in managing these objects. Logical patterns or rules are logical statements in the form of conditions and comparisons of attribute values with calculated threshold values. These patterns characterize a specific group of objects (observations) [1].

This work is aimed at finding the optimal logical rules, which are a set of conjunctions of attribute values (or comparisons of attributes with a certain threshold value). Optimality lies in the fact that the found rules should have the greatest generalizing ability [2], that is, they should be confirmed by the largest number of precedents. With a large amount of data, this task is a computationally laborious optimization problem. The proposed approach is based on the use of a new combinatorial optimization algorithm that implements the properties of the class of problems under consideration [3].

Application of the developed optimization algorithms makes it possible to find patterns with greater generalizing ability. The set of found patterns is used to build a "transparent" model of classifying objects.

Modeling in the form of a set of logical patterns allows solving problems: identifying the most influencing attributes and determining their threshold values; identifying attribute sets combinatorially affecting the state and grouping of objects; determination of the most typical states of objects; identification of atypical objects and elimination of outliers; classification of objects into groups; identification of "new" (hidden) groups of objects.

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FSRZ-2020-0011).

References:

1. Bonates T.O., Hammer P.L., Kogan A. Maximum patterns in datasets. // *Discrete Appl. Math.* 156, 2008. P. 846-861.
2. Hammer P.L., Kogan A., Simeone B., Szedmak S. Pareto-optimal patterns in logical analysis of data. // *Discrete Appl. Math.* 144, 2004. P. 79–102.
3. Kazakovtsev L.A., Masich I.S. A branch-and-bound algorithm for a pseudo-boolean optimization problem with black-box functions. // *Facta Universitatis, Series Mathematics and Informatics.* Vol. 33. No 2 (2018). P. 337–360.

Оптимизация процессов обучения авиационного персонала с использованием технологий смешанной реальности и искусственного интеллекта

Митрофанов С.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Все больше крупных международных компаний используют современные технологии смешанной и дополненной реальности в маркетинге, рекламе, производстве, обучении и эксплуатации. Яндекс и Google используют технологии машинного обучения и искусственного интеллекта в своих веб-проектах. При компьютерном проектировании дополненной реальности и искусственный интеллект становится фактически безальтернативной технологией для быстрой идентификации интересующих пользователя узлов и агрегатов, наглядного их представления поверх реального объекта на дисплее мобильного устройства (телефона, планшета, очков дополненной реальности) в реальных физических величинах. Задача детектирования объектов на изображении решается, как и большинство аналогичных задач в области компьютерного зрения, с помощью сверточных нейронных сетей. Благодаря своему строению они уверенно извлекают заданные признаки из изображения и поэтому используются в задачах классификации, распознавания и сегментации. Для того, чтобы система искусственного интеллекта на основе нейронных сетей сумела распознать заданный объект в видеопотоке с мобильного устройства в реальном времени и классифицировать его, она должна быть обучена определять, что именно находится в данном видеопотоке. Для этого необходим массив размеченных графических изображений. В качестве таковых могут использоваться фотографии объекта и синтетические изображения, полученные с трехмерной модели объекта с помощью различных систем визуализации. Разметка или аннотация изображений является неотъемлемой частью разработки искусственного интеллекта, и это одна из основных задач в технологии компьютерного зрения.

Optimization of aviation personnel training processes using mixed reality and artificial intelligence technologies

Mitrofanov S.Y.

MAI, Moscow, Russia

More and larger international companies are using modern mixed and augmented reality technologies in marketing, advertising, production, training and operation. Google uses machine learning technology and artificial intelligence in their web projects. In computer-based design, augmented reality and artificial intelligence become virtually an alternative technology for quickly identifying the user's components and aggregates, and visually presenting them on top of a real object on the display of a mobile device (phone, tablet, augmented reality glasses) in real physical quantities. The problem of detecting objects in an image is solved, like most similar problems in the field of computer vision, using convolutional neural networks. Due to their structure, they confidently extract the specified features from the image and are therefore used in classification, recognition, and segmentation tasks. In order for an artificial intelligence system based on neural networks to recognize a given object in a video stream from a mobile device in real time and classify it, it must be trained to determine what exactly is in this video stream. To do this, you need an array of marked-up graphic images. As such, you can use photos of the object and synthetic

images obtained from a three-dimensional model of the object using various visualization systems. Markup or annotation of images is an integral part of the development of artificial intelligence, and this is one of the main tasks in computer vision technology.

Метод чередующихся окрестностей

Mladenovic Nenad

САНУ, г. Белград, Сербия

Алгоритмы локального поиска широко применяются для решения NP-трудных задач дискретной оптимизации. Вместе с тем многие полиномиально разрешимые задачи могут быть решены точно методом локального спуска. При подходящем выборе полиномиальной окрестности справедливо утверждение: допустимое решение не является глобальным оптимумом, если и только если в его окрестности существует лучшее решение. Ниже приводятся несколько примеров таких задач. Данные примеры указывают на важность локального поиска при построении оптимизационных алгоритмов и достаточно общий характер этого подхода.

1. Линейное программирование. Алгебраически, если предполагать невырожденность задачи, базисное допустимое решение не является оптимальным, если и только если оно может быть улучшено локальным изменением базиса, т. е. заменой одной базисной переменной на небазисную. Такой подход позволяет рассматривать задачу линейного программирования как комбинаторную. Геометрически алгоритм симплекс метода можно интерпретировать как движение по вершинам многогранника допустимой области. Вершина не является оптимальной, если и только если существует смежная с ней вершина с меньшим значением целевой функции. Получающаяся окрестность является точной и имеет полиномиальную мощность.

2. Минимальное остовное дерево. Остовное дерево не является оптимальным, если и только если локальной перестройкой, добавляя одно ребро и удаляя из образовавшегося цикла другое ребро, можно получить новое остовное дерево с меньшим суммарным весом. Операция локальной перестройки задает отношение соседства на множестве остовных деревьев. Окрестность любого дерева имеет полиномиальную мощность, а функция окрестности является точной.

3. Максимальное паросочетание. Паросочетание не является максимальным, если и только если существует увеличивающий путь. Два паросочетания называются соседними, если их симметрическая разность образует путь. Определенная таким образом окрестность является точной и имеет полиномиальную мощность.

Аналогичные утверждения справедливы для взвешенных паросочетаний, совершенных паросочетаний минимального веса, задач о максимальном потоке и потоке минимальной стоимости.

Литература:

1. N. Mladenovic, M. Drazic, V. Kovacevic-Vujcic, M. Cangalovic. General variable neighborhood search for the continuous optimization // *European Journal of Operational Research* (2008). No. 191(3). Pp. 753-770.

2. Иванов С.В., Кибзун А.И. Общие свойства двухэтапных задач стохастического программирования с вероятностными критериями // *Автоматика и телемеханика*. — 2019. — No 6. — С. 70–90. (МАИ).

3. P. Hansen, N. Mladenovic, D. Urošević. Variable neighborhood search for the maximum clique // *Discrete Applied Mathematics* (2004). No. 145(1). Pp. 117-125.

4. Д.Н. Гайнанов, Рассказова В.А. Алгоритм расшифровки монотонных булевых функций, порождаемых неориентированными графами // *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. 2016, 9, № 3, С. 17-30. (МАИ).

5. P. Hansen, N. Mladenovic, D. Perez-Britos. Variable neighborhood decomposition search // *Journal of Heuristics* (2001). No. 7(4). Pp. 335-350.

Variable Neighborhood Search

Mladenovic Nenad

SANU, Belgrade, Serbia

Local search algorithms are widely used for solving NP-hard discrete optimization problems. However, many polynomial solvable problems can be solved exactly by the method of horizontal descent. For a suitable choice of a polynomial neighborhood, the statement is true: a feasible solution is not a global optimum if and only if there is a better solution in its neighborhood. Here are some examples of such tasks. These examples indicate the importance of local search in building optimization algorithms and the rather General nature of this approach.

1. Linear programming. Algebraically, if we assume that the problem is nondegenerate, a basic admissible solution is not optimal if and only if it can be improved by a fundamental change in the basis, i.e., by replacing one basis variable with a non-base one. This approach allows us to consider a linear programming problem as a combinatorial one. Geometrically, the simplex method algorithm can be interpreted as movement along the vertices of a polyhedron of a valid domain. A vertex is not optimal if and only if there is a vertex adjacent to it with a lower value of the objective function. The resulting neighborhood is exact and has polynomial cardinality.

2. The minimum spanning tree. A spanning tree is not optimal if, and only if, by local rearrangement, adding one edge and removing another edge from the resulting cycle, a new spanning tree with a lower total weight can be obtained. The local rearrangement operation sets the neighborhood relation on the set of spanning trees. The neighborhood of any tree has polynomial cardinality, and the neighborhood function is exact.

3. Maximum matching. A matching is not maximal if and only if there is an increasing path. Two pairs are called adjacent if their symmetric difference forms a path. The neighborhood defined in this way is exact and has polynomial cardinality.

Similar statements are valid for weighted pairs, perfect pairs of minimum weight, problems about maximum flow and minimum cost flow.

Технология NVIDIA CUDA в задачах моделирования динамических систем с интервальными параметрами

²Морозов А.Ю., ¹Ревизников Д.Л.

¹МАИ, ²ФИЦ ИУ РАН, г. Москва, Россия

NVIDIA CUDA это программно-аппаратная технология параллельных вычислений, которая позволяет использовать графические процессоры (GPU) компании NVIDIA для общих вычислений. Основное отличие GPU от центральных процессоров (CPU) заключается в наличии тысяч ядер, способных одновременно производить расчеты. Ядра GPU на много проще, чем ядра CPU и в основном предназначены для математических расчетов.

Классические интервальные методы для решения задачи Коши, при их простоте, для реальных задач практически не применимы из-за эффекта обертывания, проявляющегося в безграничном росте ширины получаемых интервальных оценок решений. Существуют альтернативные методы, не подверженные данному эффекту, но для них характерна экспоненциальная сложность относительно количества интервальных параметров. В связи с этим они требуют эффективного распараллеливания.

В работе рассматриваются ключевые аспекты распараллеливания алгоритма адаптивной интерполяции [1, 2]. Основная идея алгоритма заключается в построении над областью, образованной интервальными неопределенностями, адаптивного иерархического разбиения на основе kd-дерева. Каждая ячейка разбиения содержит сетку, каждому узлу в сетке соответствует решение исходной задачи при конкретных точечных значениях интервальных неопределенностей. Результатом работы алгоритма в каждый момент времени является кусочно-полиномиальная функция заданной степени, которая интерполирует зависимость решения задачи от точечных значений интервальных параметров с контролируемой точностью.

Один шаг алгоритма разбивается на три этапа, каждый из которых распараллеливается с помощью технологии CUDA:

- 1) переычисление всех решений на следующий временной слой;
- 2) вычисление погрешности интерполяции во всех вершинах дерева;
- 3) выполнение удаления и разбиения вершин.

При проведении расчетов с использованием видеокарты среднего класса в некоторых задачах получено стократное ускорение по сравнению с вычислениями на центральном процессоре, что показывает эффективность технологии CUDA.

Литература:

1. Морозов А.Ю., Ревизников Д.Л. Алгоритм адаптивной интерполяции на основе kd-дерева для численного интегрирования систем ОДУ с интервальными начальными условиями // Дифференциальные уравнения. Т. 54, № 7. 2018. С. 963–974. DOI: 10.1134/S0374064118070130

2. Morozov A. Yu., Reviznikov D. L. Modelling of Dynamic Systems with Interval Parameters on Graphic Processors // Программная инженерия, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 69—76. DOI: 10.17587/prin.10.69-76.

NVIDIA CUDA technology for modeling dynamic systems with interval parameters

²Morozov A.Yu., ¹Reviznikov D.L.

¹MAI, ²FRC CSC RAS, Moscow, Russia

NVIDIA CUDA is a software/hardware parallel computing technology that enables NVIDIA graphics processing units (GPUs) for general computing. The main difference between GPUs and central processing units (CPUs) is the presence of thousands of cores that can simultaneously perform calculations. GPU cores are much simpler than CPU cores and are mainly intended for mathematical calculations.

The classical interval methods for solving the Cauchy problem, with their simplicity, are practically inapplicable for real problems due to the wrapping effect, which manifests itself in an unlimited increase in the width of the obtained interval estimates of solutions. There are alternative methods that are not subject to this effect, but they are characterized by exponential complexity relative to the number of interval parameters. In this regard, they require efficient parallelization.

The paper discusses key aspects of parallelization of the adaptive interpolation algorithm [1, 2]. The main idea of the algorithm is to construct an adaptive hierarchical partition based on a kd-tree over the region formed by interval uncertainties. Each cell of the partition contains a grid, each node in the grid corresponds to the solution of the original problem for specific point values of the interval uncertainties. The result of the operation of the algorithm at each time moment is a piecewise polynomial function of a given degree, which interpolates the dependence of the solution to the problem on the point values of the interval parameters with controlled accuracy.

One step of the algorithm is divided into three stages, each of which is parallelized using CUDA technology:

- 1) recalculation of all solutions for the next time layer;
- 2) calculation of the interpolation error at all tree vertices;
- 3) performing removal and splitting of vertices.

When carrying out calculations using a middle-class video card in some tasks, a hundredfold acceleration was obtained in comparison with calculations on a central processor, which shows the effectiveness of CUDA technology.

References:

1. Morozov A. Yu., Reviznikov D. L. Adaptive Interpolation Algorithm Based on a kd-Tree for Numerical Integration of Systems of Ordinary Differential Equations with Interval Initial Conditions // Differential Equations, 2018. Vol. 54, no. 7. P. 945–956. DOI: 10.1134/S0012266118070121.

2. Morozov A. Yu., Reviznikov D. L. Modelling of Dynamic Systems with Interval Parameters on Graphic Processors // Программная Инженерия, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 69—76. DOI: 10.17587/prin.10.69-76.

Моделирование границ зоны выхода летательного аппарата в заданную точку

¹Николаев С.В., ²Корсун О.Н., ²Стуловский А.В.

¹МАИ, ²ГосНИИАС, г. Москва, Россия

В докладе представлена методика расчета границ зоны выхода летательного аппарата (ЛА) в заданную точку на основе метода оптимального управления и генетических алгоритмов. Методика позволяет решать ряд задач в процессе создания авиационной техники гражданского и военного назначения. На конкретном примере показаны возможности объекта управления по выходу в заданную точку пространства. Решение этой задачи предполагает использование метода моделирования, дающего хорошие результаты при его применении в практике создания авиационной техники [1-3]. С помощью метода моделирования получено решение задачи, поставленной в вертикальной плоскости, для чего сформулирована математическая модель объекта управления и задан целевой функционал рассогласования. Показано, что для определения траекторий, достигающих точки выхода целесообразна задача на быстродействие, которая с помощью параметризации управлений сводится к задаче численной оптимизации, которая решается посредством популяционного алгоритма [4-5]. Приведен пример построения границы выхода в точку с координатами 1500 м по высоте и 130 м/с по скорости при начальном значении скорости, принятом равным 110 м/с. Поддержано РФФИ, проект 18-08-00921.

Литература:

1. Корсун О.Н., Николаев С.В. Технология моделирования беспилотных летательных аппаратов в целях решения задач испытаний и оценки эффективности. Cloud of Science. 2020. Т. 7. № 2, С. – 106-119. <http://cloudofscience.ru>
2. Николаев С.В. Моделирование вероятности обнаружения наземных объектов. Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 4. С. 172-176.
3. Корсун О.Н., Николаев С.В. Современные информационные технологии в задачах оценки эффективности авиационных комплексов. Научно-технический и производственный журнал «Вестник компьютерных технологий» 2018 Г. № 10. С. 39-47
4. Буковский Г.А., Корсун О.Н., Стуловский А.В. Формирование оптимального управления самолетом на закритических углах атаки на основе популяционного алгоритма оптимизации // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 6. С. 27-37.
5. Корсун О.Н., Стуловский А.В. Сравнение прямого метода и принципа максимума в задаче формирования программного управления летательным аппаратом // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20. № 6. С. 367-375.

Modeling the boundaries of the aircraft exit zone to a set point

¹Nikolaev S.V., ²Korsun O.N., ²Stulovski A.V.

¹MAI, ²GosNIAS, Moscow, Russia

The report presents a methodology for calculating the boundaries of the exit zone of an aircraft (AC) at a given point based on the method of optimal control and genetic algorithms. The technique allows solving a number of problems in the process of creating civil and military aviation equipment. A specific example shows the capabilities of the control object to exit to a given point in space. The solution to this problem involves the use of a modeling method that gives good results when applied in the practice of creating aircraft [1-3]. Using the modeling method, a solution to the problem posed in the vertical plane was obtained, for which a mathematical model of the control object was formed and the target mismatch functional was set. It is shown that in order to determine the trajectories reaching the exit point, it is expedient to have a performance problem, which, using the parameterization of controls, is reduced to a numerical optimization problem, which is solved using a population algorithm [4-5]. An example of the construction of the border of the exit to a point with coordinates of 1500 m in height and 130 m / s in speed with the initial value of the speed taken equal to 110 m / s is given. Supported by RFBR, project 18-08-00921.

References:

1. Korsun O.N., Nikolaev S.V. Unmanned aerial vehicle simulation technology for the purpose of solving test problems and evaluating efficiency. Cloud of Science. 2020. T. 7.No. 2, S. - 106-119. <http://cloudofscience.ru>

2. Nikolaev S.V. Modeling the probability of detecting ground objects. Automation. Modern technologies. 2019.Vol. 73.No. 4. S. 172-176.

3. Korsun O.N., Nikolaev S.V. Modern information technologies in the tasks of assessing the effectiveness of aviation systems. Scientific, technical and production journal "Bulletin of Computer Technologies" 2018 No. 10. P. 39-47

4. Bukovsky G.A., Korsun O.N., Stulovsky A.V. Formation of optimal control of the aircraft at supercritical angles of attack based on the population optimization algorithm // Bulletin of Computer and Information Technologies. 2018. No. 6. P. 27-37.

5. Korsun O. N., Stulovsky A. V. Comparison of the direct method and the maximum principle in the problem of the formation of programmed control of the aircraft // Mechatronics, automation, control. 2019.Vol. 20.No. 6.P. 367-375.

Численное моделирование последствий падения самолета на контеймент АЭС

Острик А.В., Ким В.В.

ИПХФ РАН, г. Черноголовка, Россия

Предложен новый вариант определяющих уравнений для бетона, являющийся обобщением широко используемых моделей бетона деформационной теории пластичности Г.А. Гинеева [1] и типа Холмквиста-Джонсона-Кука [2]. Разработан, апробирован и подробно описан численный алгоритм решения предложенных определяющих уравнений в каждой расчетной ячейке газодинамического кода. Алгоритм реализован в виде подпрограммы для ЭВМ и внедрен в 3D-код метода конечно-размерных частиц [3].

Проведен обзор работ по возможным характеристикам воздействия падающих самолетов на бетонные защитные оболочки реакторов АЭС (контейменты). Определены наиболее вероятные параметры удара при падении широко используемых магистральных самолетов BOEING 707-320 и BOEING 747-400 [4]. Выбрана типовая модель контеймента.

На основе подхода Рiera [5] построена модель взаимодействия фюзеляжа самолета с контейментом, позволившая оценить временные характеристики нагрузки и ее амплитуду. Для магистральных самолетов типа BOEING характерное время удара составило несколько десятых секунды, что говорит о преобладании оболочечной стадии деформирования и разрушения контеймента при ударе по нему легко деформируемой и разрушаемой конструкции фюзеляжа летательного аппарата.

Сделан вывод, что волновая стадия оказывается доминирующей при рассмотрении взаимодействия с контейментом компактных и жестких двигателей. По разработанному 3D-коду выполнены три варианта расчета ударов двигателей самолета BOEING 707-320 по защитной бетонной оболочке: одиночное воздействие сверху по сферическому куполу; одиночное воздействие сбоку по цилиндрической части; одновременное воздействие двух центральных двигателей сбоку. Получено, что двигатели при скорости падающего самолета 100 м/с существенно повреждают контеймент, но не пробивают его (останавливаются внутри защитной конструкции). Однако при ударе сверху по сферическому куполу возможно обрушение его центральной части на внутреннюю металлическую оболочку контеймента.

Литература:

1. Гениев Г.А., Киснюк В.П., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1974. 316 с.

2. Holmquist T.J., Johnson G.R., Cook W.H. A computational constitutive model for concrete subjected to large strains, high strain rates, and high pressures //Proc. 14th Int. Symp. Ballistics. Quebec City, Canada, 26-29 September, 1993. Vol. 2. P. 591-600.

3. Ким В.В., Ломоносов И.В., Острик А.В, Фортов В.Е Метод конечно-размерных частиц в ячейке для численного моделирования высокоэнергетических импульсных воздействий на вещество //Математическое моделирование, 2006. Т.18 , №.8, С. 5-11.

4. Бирбраер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 594 с.

5. Riera J. D. On the Stress Analysis of Structures Subjected to Aircraft Impact Forces //Nucl. Eng. and Des. 1968. Vol. 8. P. 415–426.

Numerical simulation of consequences of aircraft crash on NPP containment

Ostrik A.V., Kim V.V.

IPCP RAS, Chernogolovka, Russia

A new variant of the defining equations for concrete is proposed. This version generalizes widely used concrete models of the deformation theory of plasticity of G.A. Gineev [1] and the Holmquist-Johnson-Cook type [2]. A numerical algorithm for solving the proposed defining equations in each calculation cell of the gas dynamic code has been developed, tested and described in detail. The algorithm is realized as a subroutine for computers and is used in the 3D code of the method of finite-dimensional particles [3].

Work on possible characteristics of impact of falling aircraft on concrete containment of atomic reactors was reviewed. The most probable parameters of impact for cases of the fall of widely used BOEING 707-320 and BOEING 747-400 aircraft were determined [4]. A typical containment model is formulated.

Model of aircraft fuselage interaction with containment is based on Riera approach [5]. The model made it possible to estimate the time characteristics of the loading and its amplitude. The characteristic impact time is several tenths of a second for mainline aircraft BOEING. This fact indicates the predominance of the shell stage of deformation and destruction of the containment when the easily deformable and collapsible fuselage of the aircraft acts on the structure.

It was concluded that the wave stage is dominant when considering the interaction of compact and rigid engines with the containment. Three variants of BOEING 707-320 aircraft engine impacts on the protective concrete shell were made using a developed 3D code. This variants are: single impact from above along the spherical dome; single side action along the cylindrical portion; simultaneous impacts of two central engines of aircraft on the side of containment. It is obtained that engines having a speed of 100 m/s significantly damage the containment, but do not punch it (the engines stop inside the protective structure). But the collapse of the central part of the spherical dome onto the inner metal shell of the containment is possible when the engine impacts from above.

References:

1. Geniev G.A., Kissyuk V.P., Tyupin G.A. Theory of plasticity of concrete and reinforced concrete. M.: Stroyizdat, 1974. 316 p.

2. Holmquist T.J., Johnson G.R., Cook W.H. A computational constitutive model for concrete subjected to large strains, high strain rates, and high pressures //Proc. 14th Int. Symp. Ballistics. Quebec City, Canada, 26-29 September, 1993. Vol. 2. P. 591–600.

3. Kim V.V., Lomonosov I.V., Ostrik A.V., Fortov V.E. Method of finite-dimensional particles in a cell for numerical modeling of high-energy impulse actions on matter //Mathematical modeling, 2006, Vol. 18, No. 8. P. 5-11.

4. Birbraer A.N., Roleder A.Yu. Extreme impacts on structures. - St. Petersburg: Publishing House Polytechnic university, 2009. 594 p.

Riera J.D. On the Stress Analysis of Structures Subjected to Aircraft Impact Forces //Nucl. Eng. and Des. 1968, Vol. 8. P. 415–426.

Применение минипакетного метода адаптивного случайного поиска в задачах синтеза субоптимальных детерминированных систем совместного оценивания и управления

Пантелеев А.В., Лобанов А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается применение методов условной глобальной оптимизации для решения задачи нахождения оптимального управления с неполной обратной связью через разложение сигналов управления по ортонормированной системе базисных функций, заданных на

множестве возможных состояний динамической системы [1]. Задача сводится к проблеме параметрической оптимизации, которая решается с помощью хорошо зарекомендовавшего себя метода нулевого порядка – «мини пакетного адаптивного метода случайного поиска» [2].

Поведение нелинейной непрерывной детерминированной модели объекта управления описывается системой дифференциальных уравнений с начальными условиями, заданными компактным множеством начальных состояний. Качество управления отдельной траекторией оценивается величиной функционала Больца. Ставится задача минимизации среднего значения функционала на множестве возможных начальных состояний. Находятся законы управления моделью объекта и наблюдателем состояния, вырабатывающим оценки вектора состояния по результатам наблюдений. Искомое оптимальное управление ищется в виде функции насыщения, имеющей релейную структуру, а ее аргументы предлагается искать в виде линейной комбинации заданных базисных функций. В качестве базисных функций были выбраны ортонормированные полиномы Лежандра [3, 4].

С целью сокращения объема вычислений при нахождении величины функционала предлагается вместо траекторий, исходящих из заданного множества начальных состояний, использовать только их часть, образующую мини пакет. При этом задается объем мини пакета и генерируется множество из попарно несовпадающих начальных состояний. Для решения задачи применяется известный метод адаптивного случайного поиска, относящийся к методам минимизации нулевого порядка (без использования информации о производных), модифицированный проверкой, процедурами обеспечения выполнения ограничений и мини пакетным способом вычисления значений целевой функции.

В работе разработана стратегия, пошаговый алгоритм и соответствующее программное обеспечение приближенного решения задачи поиска оптимального управления нелинейными непрерывными детерминированными динамическими системами совместного оценивания и управления в условиях неопределенности задания начальных условий. Приведенный алгоритм и программа апробированы на модельном примере решения задачи слежения за выбранной координатой хаотической динамической системы [5-8]. Исследовано влияние размера мини пакета на качество полученного результата. Даны рекомендации по выбору параметров алгоритма.

Литература:

1. Давтян Л.Г., Пантелеев А.В. Метод параметрической оптимизации нелинейных непрерывных систем совместного оценивания и управления // Известия РАН. Теория и системы управления. 2019. №3. С. 34-47.
2. Panteleev A. and Lobanov A. 2020. The mini-batch adaptive method of random search (MAMRS) for parameters optimization in the tracking control problem // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 927 012025.
3. Рыбаков К. А. Моделирование и анализ выходных процессов линейных непрерывных стохастических систем на основе ортогональных разложений случайных функций // Известия РАН. Теория и системы управления. 2020. №3. С. 14-29.
4. Rybakov K 2020 Spectral method of analysis and optimal estimation in linear stochastic systems // Int. J. Model. Simul. Sci. Comput. 11(3) 2050022.
5. Sundarapandian V 2011 Output Regulation of the Pan System // ISRN Appl. Math.
6. Byrnes C and Isidori A 1990 Output regulation of nonlinear systems // IEEE Trans. Autom. Contr. 35 131-140.
7. Pan L, Xu D and Zhou W 2010 Controlling a Novel Chaotic Attractor using Linear Feedback // J. of Inform. and Comput. Sci. 5 117-124.
8. Sundarapandian V 2011 Output regulation of the Sprott-D chaotic system // Int. J. of Comput. Inf Syst. 2 27-31.

Application of the mini-batch method of adaptive random search in task of synthesis of suboptimal deterministic systems of joint estimation and control

Panteleev A.V., Lobanov A.V.

MAI, Moscow, Russia

The application of the methods of conditional global optimization is considered for solving the problem of finding the optimal control with incomplete feedback through the expansion of signals controls in terms of an orthonormal system of basis functions given on the set of possible states of a dynamic system [1]. The problem is reduced to the problem of parametric optimization, which is solved using the well-proven zero-order method – «mini-batch adaptive random search method» [2].

The behavior of a nonlinear continuous deterministic model of a control plant is described by a system of differential equations with initial conditions given by a compact set of initial states. The quality of control of a separate trajectory is estimated by the value of the Bolz functional. The problem is posed of minimizing the average value of the functional on the set of possible initial states. The laws of control of the object model and the state observer are found which generates estimates of the state vector based on the observation results. The desired optimal control is sought in the form of a saturation function with a relay structure, and its arguments are proposed to be sought in the form of a linear combination of given basis functions. Orthonormal Legendre polynomials were chosen as basis functions [3, 4].

In order to reduce the amount of computations when finding the value of the functional, it is proposed to use only their part, which forms a mini-batch, instead of trajectories emanating from a given set of initial states. In this case, the volume of the mini-batch is set and a set of pairwise mismatched initial states is generated. To solve the problem, the well-known method of adaptive random search is used, modified by verification, procedures for ensuring the fulfillment of constraints and a mini-batch method for calculating the values of the objective function.

The paper developed a strategy, a step-by-step algorithm and the corresponding software for an approximate solution to the problem of finding optimal control for nonlinear continuous deterministic dynamic systems of joint estimation and control under conditions of uncertainty in setting the initial conditions. The presented algorithm and program have been tested on a model example of solving the problem of tracking the selected coordinate of a chaotic dynamical system [5-8]. The influence of the size of the minipackage on the quality of the result is investigated.

References:

1. Davtyan L and Panteleev A 2019 Method of Parametric Optimization of Nonlinear Continuous Systems of Joint Estimation and Control. *J. Comput. Syst. Sci. Int.* 58 360–373
2. Panteleev A and Lobanov A 2020 The mini-batch adaptive method of random search (MAMRS) for parameters optimization in the tracking control problem. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 927 012025
3. Rybakov K 2020 Modeling and Analysis of Output Processes of Linear Continuous Stochastic Systems Based on Orthogonal Expansions of Random Functions. *J. Comput. Sys. Sc. Int.* 59 322–337
4. Rybakov K 2020 Spectral method of analysis and optimal estimation in linear stochastic systems. *Int. J. Model. Simul. Sci. Comput.* 11(3) 2050022
5. Sundarapandian V 2011 Output Regulation of the Pan System. *ISRN Appl. Math.*
6. Byrnes C and Isidori A 1990 Output regulation of nonlinear systems. *IEEE Trans. Autom. Contr.* 35 131–140
7. Pan L, Xu D and Zhou W 2010 Controlling a Novel Chaotic Attractor using Linear Feedback. *J. of Inform. and Comput. Sci.* 5 117–124
8. Sundarapandian V 2011 Output regulation of the Sprott-D chaotic system. *Int. J. of Comput. Inf Syst.* 2 27–31.

Моделирование процесса составления программы по данным обучающей выборки коллективным интеллектом простейших вычислителей

Потапова З.Е., Протасов В.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Составление вычислительной программы по обучающей выборке с известными результатами неизвестных арифметических операций над некоторым заданным набором данных и неизвестными константами является достаточно сложной задачей. К такой постановке приводит, например, решение второго этапа задачи структурно-параметрической идентификации системы управления при нахождении значений параметров выбранной системы управления [1]. В 1992 году Дж. Коца для решения такого класса задач разработал метод генетического программирования (ГП) [2]. Для снижения затрат при решении данного класса задач мы предлагаем решать их с помощью параллельной работы табличных вычислителей, потребляющих мало энергии, со специально разработанной под задачи ГП архитектурой и системой команд.

Предполагается, что имеется 1 простейших вычислителей, топологически расположенных в вершинах тора со связями по ортогональным направлениям и кольцевыми связями на границах. В базовый набор команд входят четыре арифметические операции, выполняемые табличным процессором, и возможен обмен небольшими фрагментами информации между соседними вычислителями по графу связи системы. Бинарное дерево, состоящее из определенно построенных операторов, размещается в памяти вычислителя последовательно и за счет этого значительно упрощается скрещивание бинарных деревьев, описывающих операторы, выполняющими команды над переменными, константами и результатами предыдущих вычислений.

По результатам многочисленных успешных восстановлений неизвестных функций сделан вывод, что задачи ГП могут быть решены не только на суперкомпьютерах с использованием сложнейших программных комплексов, но и сетью простейших вычислителей.

[1] Дивеев, А.И., Софронова Е.А. Метод генетического программирования с сетевым оператором для идентификации систем управления. – Вестник ДГТУ. Физико-математические науки. – 2010, т.10, №5(18). –С.623-633.

[2] Koza, J.R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection.–MIT Press, 1992. — 840 p.

Modeling the process of composition of the program on the data of the training sample by the collective intelligence of the simple computers

Potapova Z.E., Protasov V.I.

MAI, Moscow, Russia

Compiling a computational program based on a training set with known results of unknown arithmetic operations on a given set of data and unknown constants is a rather difficult task. For example, the solution of the second stage of the problem of structural-parametric identification of the control system leads to such a formulation when the values of the parameters of the selected control system are found [1]. In 1992, J. Koza developed the genetic programming (GP) method to solve this class of problems [2]. To reduce costs when solving this class of problems, we propose to solve them with the help of parallel operation of spreadsheet computers that consume little energy, with an architecture and command system specially designed for GPU tasks.

It is assumed that there are 1 simplest calculators topologically located at the vertices of the torus with connections in orthogonal directions and ring connections on the boundaries. The basic set of instructions includes four arithmetic operations performed by a tabular processor, and it is possible to exchange small pieces of information between neighboring computers along the system's communication graph trees describing operators executing commands on variables, constants and the results of previous calculations.

Based on the results of numerous successful reconstructions of unknown functions, it was concluded that GP problems can be solved not only on supercomputers using the most complex software systems, but also by a network of simplest computers.

[1] Diveev, A.I., Sofronova E.A. Method of genetic programming with a network operator for identification of control systems. –Vestnik DSTU. Physics and mathematics. - 2010, v. 10, No. 5 (18). –S.623-633.

[2] Koza, J.R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. – MIT Press, 1992. - 840 p.

[1] Diveev, A.I., Sofronova E.A. Method of genetic programming with a network operator for identification of control systems. –Vestnik DSTU. Physics and mathematics. - 2010, v. 10, No. 5 (18). –S.623-633.

[2] Koza, J.R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. – MIT Press, 1992. - 840 p.

Применение метода анализа иерархий для геоэкологического мониторинга противогололедных реагентов по основным объектам окружающей среды

Приоров Г.Г., Челноков В.В.

РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия

Вопрос экологической безопасности веществ и материалов, применяемых для содержания и эксплуатации дорог, в том числе и противогололедных реагентов (ПГР), в настоящее время очень актуален, поэтому возникает необходимость детального подхода в оценке потенциального воздействия таких материалов на человека и природные объекты, а также установления рисков и ограничений, связанных с обращением данных продуктов [1]. Отходы при содержании дорог образуются при их эксплуатации в результате разрушения дорожного покрытия, провоза по ним пылящих грузов и материалов, движения загрязненных транспортных средств, а также в результате зимней эксплуатации дорог и обработки их ПГР.

Развитие современной методологии и передовые результаты исследований в области разработки и управления интеллектуально-информационными и технологическими инструментами оценки воздействия отходов на круглогодичное содержание дорог на основе экологического мониторинга связаны с анализом как техногенных, так и экологических – социально-экономические последствия при эксплуатации хозяйственных объектов [2].

Точные аналитические методы, к которым относится метод анализа иерархий (МАИ) достаточно универсальны для любой сферы деятельности человека: будь то бизнес, государственное управление или частная жизнь. Этим обусловлена актуальность темы данной работы. Анализ проблемы принятия решений в методе анализа иерархий основан на построении иерархической структуры, которая включает цель, критерии и другие рассматриваемые факторы, влияющие на выбор [3].

Для геоэкологического мониторинга загрязнений, образующихся при эксплуатации автодорог, была разработана автоматизированная система иерархического анализа воздействия загрязняющих веществ на важнейшие компоненты окружающей среды в г. Москве. В качестве ключевых объектов окружающей среды были выбраны: почва и грунт, зеленые насаждения, водоемы, атмосферный воздух. Для повышения точности исследований, первичный анализ объектов окружающей среды предусматривал ежемесячное взятие проб в каждой экологической зоне в течение всего года.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-24185 "Научные основы разработки и управления эксплуатацией информационной интеллектуальной системы мониторинга и прогнозирования оценки воздействия на окружающую среду отходов круглогодичного содержания автодорог".

Литература:

1. Бессарабов А.М., Приоров Г.Г., Нартов А.С., Глушко А.Н., Стоянов О.В. CALS-системы компьютерного менеджмента качества противогололедных реагентов для экологического мониторинга содержания радионуклидов // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23, № 7. С. 85-90.

2. Glushko A., Bessarabov A., Priorov G. CALS-system of ecological monitoring of chemical anti-icing materials on the major environmental components // Chemical Engineering Transactions. 2018. V. 70. P. 451-456.

3. Priorov G., Glushko A., Bessarabov A. Computer Quality Management of the Impact of Anti-Icing Reagents on the Environment of the Metropolis // Book of abstracts 1st Asia Pacific Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (1st SDEWES AP), Gold Coast, Australia, in 6-9 April 2020, p. 53.

Application of the method of analysis of hierarchies for geocological monitoring of anti-ice reagents on the main environmental objects

Priorov G.G., Chelnokov V.V.

MUCTR, Moscow, Russia

The issue of environmental safety of substances and materials used for the maintenance and operation of roads, including deicing reagents (PGR), is currently very relevant, therefore there is a need for a detailed approach in assessing the potential impact of such materials on humans and natural objects, as well as establishing risks and restrictions associated with the handling of these products. Waste from the maintenance of roads is generated during their operation as a result of the destruction of the road surface, the transport of dusty goods and materials along them, the movement of contaminated vehicles, as well as as a result of the winter operation of roads and the processing of their PGR.

The development of modern methodology and advanced research results in the development and management of intelligent, informational and technological tools for assessing the impact of waste on year-round maintenance of roads based on environmental monitoring are associated with the analysis of both technogenic and environmental-socio-economic consequences during the operation of economic facilities.

The exact analytical methods, which include the method of analysis of hierarchies (MAI), are quite universal for any area of human activity: be it business, government or private life. This explains the relevance of the topic of this work. The analysis of the decision-making problem in the method of analysis of hierarchies is based on the construction of a hierarchical structure, which includes the goal, criteria and other considered factors influencing the choice.

For geocological monitoring of pollution generated during the operation of highways, an automated system for hierarchical analysis of the impact of pollutants on the most important components of the environment in Moscow was developed. The following were selected as key objects of the environment: soil and ground, green spaces, reservoirs, atmospheric air. To improve the accuracy of research, the primary analysis of environmental objects provided for monthly sampling in each ecological zone throughout the year.

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 18-29-24185 "Scientific bases for the development and management of the operation of an intelligent information system for monitoring and predicting the assessment of the environmental impact of waste of year-round maintenance of roads"

Молекулярно-динамическое моделирование системы коллективного самоуправления беспилотных летательных аппаратов

Протасов В.И., Потапова З.Е.

МАИ, г. Москва, Россия

Развиваемый в [1] и данной работе подход к децентрализованному управлению целесообразным поведением группы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в условиях радиомолчания по заложенным в бортовые компьютеры (БК) программам является достаточно простым для его осуществления. Каждый БПЛА является независимым объектом, управляющим своим движением исходя из заданной миссии и анализа своего расположения и расположения других объектов, препятствий, активных и пассивных помех своему движению в пространстве. Информацию о расстоянии, размерах и расположении объектов в пространстве он получает от системы технического зрения.

Управляющие воздействия на органы управления БПЛА осуществляются по данным БК, рассчитанным исходя из молекулярно-динамических расчетов, как это представлено в [1], с учетом пространственно-временных параметров заданной миссии.

В БК заложен требуемый закон движения группы в виде зависимостей координат центра тяжести (ЦТ) всей системы БПЛА от времени. У каждого БПЛА задано смещение по координатам относительно ЦТ. При смене миссии для перестроения группы в новую конфигурацию в заданный момент времени вводятся новые значения смещений. В точку пространства с координатами ЦТ плюс координаты этих смещений помещается виртуальный потенциал воздействия этого центра силы на данный БПЛА в виде параболической зависимости энергии взаимодействия от расстояния. Исходя из молекулярно-динамических расчетов определяются компоненты сил и скоростей БПЛА, соответствующие движению в группе. Расчет остальных взаимодействий (с соседними БПЛА, активными и пассивными помехами) осуществляется, как и в [1] с использованием потенциала Ленарда-Джонса с сильной отталкивательной ветвью.

Молекулярно-динамическое моделирование движения группы БПЛА в условиях интенсивного воздействия активных помех при перестроении группы в различные геометрические фигуры показало простоту и эффективность данного подхода к самоуправлению группы БПЛА.

[1] N. A. Maximov, V. I. Protasov, Z. E. Potapova, A. V. Sharonov, I. K. Shatalov. Decentralized control of a group of quadcopters using the molecular dynamics method.

–Amazonia Investiga, April 2020, v. 9(28). – p. 404–411.

Molecular-dynamic modeling of the collective self-control system of UAV

Protasov V.I., Potapova Z.E.

MAI, Moscow, Russia

The article[1] and this paper develops an approach to decentralized control of the expedient behavior of a group of unmanned aerial vehicles (UAVs). This approach is simple enough to be implemented in radio silence conditions. Each UAV is an independent object that controls its movement based on a given mission. He analyzes his location and the location of other objects, obstacles, active and passive obstacles to his movement in space. It receives information about the distance, size and location of objects in space from the computer vision system.

Control actions on UAV controls are carried out according to data that are calculated based on molecular dynamics calculations [1]. The space-time parameters of a given mission are also taken into account.

The on-board computer contains the required law of motion for the group. It is presented in the form of dependences of the coordinates of the center of gravity (CG) of the entire UAV system on time. Each UAV has a coordinate offset relative to the CG. To rebuild the group, new offset values are entered into the new configuration. At a point in space with the coordinates of the center of gravity plus the coordinates of these displacements is placed the virtual potential of the impact of this center of force on this UAV in the form of a parabolic dependence of the interaction energy on distance. Next, the components of the forces and velocities of the UAV are determined, corresponding to the movement in the group, based on molecular dynamics calculations. The calculation of the remaining interactions (with neighboring UAVs, active and passive interference) is carried out, as in [1], using the Lenard-Jones potential with a strong repulsive branch.

Molecular dynamic modeling of the movement of a UAV group under conditions of intense exposure to active interference when rebuilding the group into various geometric shapes has shown the simplicity and effectiveness of this approach to self-control of the UAV group.

[1] N. A. Maximov, V. I. Protasov, Z. E. Potapova, A. V. Sharonov, I. K. Shatalov. Decentralized control of a group of quadcopters using the molecular dynamics method.

–Amazonia Investiga, April 2020, v. 9(28). – p. 404–411.

Модель машинного обучения для классификации морфологических признаков археологической керамики

¹Прохоров К.О., ¹Судаков В.А., ²Гусак Л.А.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²НовГУ, г. Великий Новгород, Россия

В настоящее время существенно растет сфера применения компьютерных и математических методов в гуманитарных и социальных науках, в том числе в археологии. В данной работе был разработан комплекс средств, облегчающих керамисту процесс классификации найденных черепков по профилю и дополнительным признакам, а также позволяющих найти похожие профили из существующих образцов.

На основе полученных данных была разработана математическая модель, при помощи которой можно предсказывать целевые признаки при помощи известных параметров и производить сопоставление существующей формы представленной в виде векторного файла с другими известными фрагментами. Кроме методов машинного обучения в данной задаче также применялись методы интерполяции формы сосуда по ключевым точкам и сравнение профилей сосудов на основе евклидова расстояния полученных функций. В результате кластеризации полученных образцов было подтверждено разделение сосудов по основным категориям, а также правильность отнесения существующих образцов к определенным классам. Для специалиста, который в конечном итоге принимает решение об отнесении глиняного черепка к той или иной категории полезными оказываются также инструменты первичной обработки фотографий, в частности в данной работы была разработана программа выделения краев на полученных изображениях и преобразования данного изображения в файл описания профиля сосуда в формате Adobe Illustrator.

Результат реализации проекта – набор инструментов и программных средств, существенно облегчающих специалисту анализ археологического материала по древней керамике, а также упрощающих подготовку данных для существующих баз глиняных черепков.

Литература:

1. Daniel Calderbank. Moulding clay to model sealand society pottery production and function at tell khaiber, Southern Iraq. A thesis submitted to the University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Humanities. School of Arts, Languages and Cultures, 2018

2. Ю.Б. Цеглин. Древняя керамика. Теория и методы историко-культурного подхода – ИА РАН, 2012, 151-170

3. Avshalom Karasik. A Complete, Automatic Procedure for Pottery Documentation and Analysis. Computerized Archaeology Laboratory, the Archaeological Institute, the Hebrew University, Jerusalem, Israel, 2010

4. James Armstrong, Hermann Gasche. Mesopotamian Pottery. A Guide to the Babylonian Tradition in the Second Millennium B.C. Chicago, Ghent, 2014.

Machine learning model for classification of morphological features of archaeological pottery

¹Prokhorov K.O., ¹Sudakov V.A., ²Gusak L.A.

¹MAI, Moscow, Russia

²NovSU, Velikiy Novgorod, Russia

Currently, the scope of application of computer and mathematical methods in the humanities and social sciences, including archeology, is growing significantly. In this work, a set of tools was developed to facilitate the process of classifying ceramic finds (potsherds) by profile and additional features.

Based on the data obtained, a mathematical model was developed with which it is possible to predict target features based on known parameters and to compare the actual finds presented in the form of a vector file with other known pottery fragments. In addition to machine learning methods, methods for interpolating the shape of a vessel from key points and for comparing pottery profiles based on the Euclidean distance of the obtained functions. On the basis of clustering of the obtained samples, the division of finds into main categories, and the correctness of assigning existing

samples to certain classes was confirmed. For a specialist who ultimately decides to classify a potsherd into one category or another, tools for primary processing of photographs are also useful, in particular, in this work, a program was developed for extracting edges in the original images and converting the bitmap image into a file describing the pottery profile in Adobe Illustrator format.

The result of the project is a set of tools and software that facilitate the analysis of archaeological material on ancient ceramics for a specialist, and simplify the preparation of data for existing databases of ancient pottery.

References:

1. Daniel Calderbank. Molding Clay to Model Sealand Society. Pottery Production and Function at Tell Khaiber, Southern Iraq. A thesis submitted to the University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Humanities. School of Arts, Languages and Cultures, 2018
2. Yu.B. Tsetlin. Ancient Ceramics. Theory and Methods of the Historical and Cultural Approach - IA RAS, 2012, 151-170
3. Avshalom Karasik. A Complete, Automatic Procedure for Pottery Documentation and Analysis. Computerized Archeology Laboratory, the Archaeological Institute, the Hebrew University, Jerusalem, Israel, 2010
4. James Armstrong, Hermann Gasche. Mesopotamian Pottery. A Guide to the Babylonian Tradition in the Second Millennium B.C. Chicago, Ghent, 2014.

Практическая реализация алгоритма декомпозиции путей ориентированного графа

Рассказова В.А., Золотарев И.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Целью данной работы является рассмотрение особенностей практической реализации алгоритма декомпозиции путей ориентированного графа. Алгоритм направлен на решение задачи нахождения оптимальных путей в подграфах сильносвязного ориентированного графа. В этом алгоритме используются эвристические критерии, которые рассмотрены в работе и описаны в алгоритмическом виде. Описан алгоритм генерации вариантов происхождения по подграфам в пути на графе. Алгоритм превращает вектор вершин, принадлежащим пути и список принадлежности ребер графа подграфам в матрицу, состоящую из вершин пути, разделенных числами, обозначающими принадлежность к подграфу. Подробно рассмотрены процессы сортировки таблицы M для декомпозиции множества путей по полю N -sigma, описаны условия для досрочного завершения сортировки. Разобран алгоритм для расчета балансов. В этом алгоритме используется отбор строки из таблицы на основе рассчитываемого условия, связанного с принадлежностью ребер подграфам. На основе данных алгоритмов и исходного алгоритма декомпозиции путей ориентированного графа разработан комплекс программ на языке программирования Python 3. Проведены расчеты для случайного графа размерности 100 вершин и приводится время работы предложенного алгоритма. Полученные результаты могут быть использованы при решении задачи организации грузовых железнодорожных перевозок на этапе назначения и перемещения локомотивов. Научная и практическая новизна работы заключается в существенном снижении размерности исходной задачи, что особенно важно в условиях транспортных сетей сложной топологии.

Литература:

1. Гайнанов Д.Н., Коньгин А.В., Рассказова В.А. Моделирование грузовых железнодорожных перевозок методами теории графов и комбинаторной оптимизации // Автоматика и телемеханика. 2016. № 11. С. 60-79.
2. Гайнанов Д.Н., Кибзун А.И., Рассказова В.А. Теоретико-графовый алгоритм решения задачи о назначении и перемещении локомотивов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2017. № 5. С. 51-56.
3. Гайнанов Д.Н., Кибзун А.И., Рассказова В.А. Задача о декомпозиции множества путей ориентированного графа и ее приложение // Автоматика и телемеханика. 2018. № 12. С. 142-166.

4. Пантелеев А.В. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума. МАИ-Принт. 2009. (МАИ).

5. Осипова В.А., Дубинина К.С. Применение алгоритмов теории графов к упрощенному методу анализа иерархий // Моделирование и анализ данных. 2019. Том 9. № 3. С. 24–31. (МАИ).

Practical realization of algorithm of oriented graph paths decomposition

Rasskazova V.A., Zolotarev I.A.

MAI, Moscow, Russia

The purpose of this paper is to consider the practical implementation of the path decomposition algorithm for a directed graph. The algorithm is aimed at solving the problem of finding optimal paths in the subgraphs of a strong connected directed graph. This algorithm uses heuristic, which are considered in the work and presented in algorithmic form.

An algorithm for generating options for passing along subgraphs along a path on a graph is described. The algorithm transforms the vector of vertices belonging to the path and the list of belonging of the edges of the graph to the subgraphs into a matrix consisting of the vertices of the path, separated by numbers denoting the belonging to the subgraph.

The processes of sorting the table M for decomposition of a set of paths by the N-sigma are considered in detail, conditions for the early completion of sorting are described. The algorithm for calculating balances has been analyzed. This algorithm uses selection of a row from a table based on the calculated condition associated with the belonging of edges to subgraphs.

On the basis of these algorithms and the original algorithm for decomposition of directed graph paths, a complex of programs has been developed in Python 3. Calculations are performed for a random graph of dimension 100 vertices and the running time of the proposed algorithm is given. The results obtained can be used to solve the problem of organizing freight rail transportation at the stage of assignment and movement of locomotives.

The scientific and practical novelty of the work lies in a significant reduction in the dimension of the original problem, which is especially important in the conditions of transport networks of complex topology.

Математическое моделирование живых систем с применением наплавных инженерных конструкций

¹Раткин И.М., ¹Челноков В.В., ²Глушко А.Н.

¹РХТУ им. Д.И. Менделеева, ²НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА, г. Москва, Россия

Предложена математическая модель живой системы восстановления и очистки от техногенных загрязнений водных объектов с применением наплавных инженерных конструкций и высших водных растений.

Объектом исследования является загрязненный участок водной био-физико-химической системы. Исследуемый участок содержит различные поллютанты, водные организмы (животные, растения), микроорганизмы и инженерные конструкции. Предметом исследования являются процессы, происходящие при обмене веществ в исследуемой био-физико-химической системе. Моделирование производится на основе классических моделей «хищник-жертва» и «ресурс-потребитель».

Процессы, происходящие при биологической очистке вод, с трудом поддаются моделированию, имеют сложные взаимные связи и зависят от множества факторов, что затрудняет аналитическое исследование этих процессов. Существенная доля закономерностей математической экологии носит эмпирический характер, что осложняет создание универсальной математической модели процессов биологической очистки.

Актуальность темы обусловлена необходимостью моделирования процессов восстановления и очистки от техногенных загрязнений водных объектов с целью классификации применяемых биологических и конструкционных материалов и повышения эффективности сооружений биологической очистки.

Проведен анализ комплекса биохимических процессов, приводится конструктивное описание объекта моделирования, выявлена схема биохимических процессов, выполнена

математическая формализация и разработана модель. На основе полученной модели предложена классификация биологических и конструкционных материалов, что позволит повысить эффективность проектирования и использования технологии биологической очистки вод.

Mathematical modeling of biosystems using floating engineering structures

¹Ratkin I.M., ¹Chelnokov V.V., ²Glushko A.N.

¹MUCTUR, ²IREA, Moscow, Russia

A mathematical model of a living system for restoring and cleaning water bodies from technogenic pollution using floating engineering structures and higher water plants is proposed.

The object of the study is a contaminated section of the water bio-physical-chemical system. The study area contains various pollutants, aquatic organisms (animals, plants), microorganisms, and engineering structures. The subject of the study is the processes that occur during the metabolism of substances in the bio-physical and chemical system under study. The simulation is based on the classic "predator-victim" and "resource-consumer" models.

The processes that occur during biological water treatment are difficult to model, have complex relationships and depend on many factors, which makes it difficult to analyze these processes. A significant part of the regularities of mathematical ecology is empirical, which complicates the creation of a universal mathematical model of biological purification processes.

The relevance of the topic is due to the need to model the processes of restoration and purification from technogenic pollution of water bodies in order to classify the biological and structural materials used and improve the efficiency of biological treatment facilities.

The complex of biochemical processes is analyzed, a constructive description of the modeling object is given, the scheme of biochemical processes is identified, mathematical formalization is performed, and a model is developed. Based on the obtained model, a classification of biological and structural materials is proposed, which will increase the efficiency of design and use of biological water treatment technology.

Моделирование физико-химических процессов магнитно-электрических активаторов сжигания промышленных отходов газов

¹Раткин И.М., ¹Челноков В.В., ²Макаренков Д.А.

¹РХТУ им. Д.И. Менделеева, ²НИИ «Курчатовский институт» – ИРЕА, г. Москва, Россия

В рамках основной задачи исследования разработана математическая модель процессов активации горения газов под воздействием электрических и магнитных полей. Сформулированы основные функциональные зависимости закономерностей явлений магнитно-электрической активации процессов сжигания углеводородосодержащих отходов газов (далее УВСОГ) для генерации теплоты. Определены основные и значимые характеристики и параметры для оценки эффективности сжигания УВСОГ газов с применением магнитно-электрических активаторов сжигания УВСОГ с генерацией теплоты, а также параметры, определяющие эффективность процесса сжигания УВСОГ с применением магнитно-электрических активаторов сжигания УВСОГ с генерацией теплоты. Разработаны предложения по методике анализа состава газов, плана исследований закономерностей явлений магнитно-электрической активации процессов сжигания УВСОГ для генерации теплоты.

Эффективность технологии магнитно-электрических активаторов сжигания достигается за счёт того, что при подготовке газообразного топлива и воздуха перед подачей в топливно-сжигающее устройство осуществляют активацию газообразного топлива и воздуха в электромагнитных ионизаторах топлива и воздуха, установленных на трубопроводах подачи топлива и подачи воздуха в топливно-сжигающее устройство. Активация газообразного топлива и воздуха, соответственно в электромагнитных ионизаторах газообразного топлива и воздуха, осуществляется путём воздействия на топливо и воздух одновременно коронным электрическим разрядом и магнитным полем. В модели рассмотрены такие процессы, как ионизация, движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях, образование

кластеров при горении, резонанс характеристических частот молекул газов, высокочастотный разряд.

Modeling of physical and chemical processes of magnetic and electric activators for industrial waste gas combustion

¹Ratkin I.M., ¹Chelnokov V.V., ²Makarenkov D.A.

¹MUCTUR, ²IREA, Moscow, Russia

As part of the main research task, a mathematical model of the processes of activation of gas combustion under the influence of electric and magnetic fields was developed. Gorenje Formulated the basic functional dependence of the laws of the phenomena of magneto-electric activation of carbonaceous combustion waste gas (hereinafter USOG) to generate heat. The basic and significant characteristics and parameters to assess the effectiveness of the combustion gases USOG with the use of magneto-electric activators burning USOG with the generation of heat, as well as parameters that determine the efficiency of the combustion process USOG with the use of magneto-electric activators burning USOG with the generation of heat. Developed methodology for analysing gas composition, research plan of the laws of the phenomena of magneto-electric activation of combustion processes UWSAG to generate warmth.

The efficiency of the technology of magnetic-electric combustion activators is achieved due to the fact that during the preparation of gaseous fuel and air before feeding to the fuel-burning device, the activation of gaseous fuel and air is carried out in electromagnetic fuel and air ionizers installed on the fuel supply pipelines and air supply to the fuel-burning device. Activation of gaseous fuel and air, respectively, in electromagnetic ionizers of gaseous fuel and air, is carried out by acting on the fuel and air simultaneously with a corona electric discharge and a magnetic field. The model considers such processes as ionization, the movement of charged particles in electric and magnetic fields, the formation of clusters during Gorenje, the resonance of the characteristic frequencies of gas molecules, and high-frequency discharge.

О периодических режимах движения по наклонной шероховатой поверхности тела, несущего внутреннюю подвижную массу

Рачков А.А., Бардин Б.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваются движение системы, состоящей из твердого тела (корпуса) и материальной точки, движущейся внутри тела по окружности, центр которой совпадает с центром масс тела. Предполагается, что корпус движется по наклонной шероховатой поверхности, а относительное движение точки происходит в вертикальной плоскости с постоянной по модулю скоростью. Трение между корпусом и поверхностью описывается законом Кулона.

В [1-3] было проведено полное качественное исследование динамики данной механической системы в случае ее движения по горизонтальной поверхности. В [4] аналогичное исследование было выполнено в предположении, что на корпус действуют как силы сухого кулоновского, так и силы вязкого трения. Вопросы численного моделирования движения корпуса по наклонной плоскости рассматривались в [5].

В данной работе получены условия существования следующих режимов движения корпуса с периодически меняющейся скоростью: движение по наклонной плоскости вниз с периодически повторяющимися интервалами покоя (залипания); движение вверх и вниз с интервалами залипания; движение с периодическими остановками и изменением направления скорости. Дано качественное описание указанных режимов и получены выводы об их устойчивости.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проекта №19-11-00116).

Литература:

1. Bardin B.S., Panev A.S. On dynamics of a rigid body moving on a horizontal plane by means of motion of an internal particle // *Vibroengineering PROCEDIA*, 2016, Vol. 8. pp 135-141.

2. Бардин Б.С., Панёв А.С. О периодических движениях тела с подвижной внутренней массой по горизонтальной поверхности // Труды МАИ, 2015, Выпуск № 84.
3. Bardin B.S., Panev A.S. On the Motion of a Body with a Moving Internal Mass on a Rough Horizontal Plane // Rus. J. Nonlin. Dyn., 2018, Vol. 14, no. 4, pp. 519-542.
4. Бардин Б.С., Панёв А.С. О поступательном прямолинейном движении твердого тела, несущего подвижную внутреннюю массу // Современная математика. Фундаментальные направления. 2019, Т. 65, № 4, С. 557-592.
5. Сорокин К.С. Перемещение механизма по наклонной шероховатой плоскости за счет движения внутренних осциллирующих масс // Известия РАН. Теория и системы управления. 2009, № 6, С. 150-158.

On the periodic motions of a body with moving internal mass on a rough inclined plane

Rachkov A. A., Bardin B. S.

MAI, Moscow, Russia

We consider the motion of a system consisting of a solid body and a material point moving inside the body along a circle, the center of which coincides with the center of mass of the body. It is assumed that the body moves along an inclined rough surface, and the relative motion of the point takes place in a vertical plane with a constant velocity modulus. The friction between the body and the surface is described by Coulomb's law.

In [1-3] a complete qualitative study of the dynamics of this mechanical system in the case of its motion on a horizontal surface was carried out. In [4] a similar study was performed under the assumption that both dry Coulomb and viscous friction forces act on the body. Some aspects of numerical modeling of the body motion along an inclined plane were considered in [5].

In this paper, the conditions for the existence of the following modes of motion of the body with periodically changing velocity are obtained: motion along an inclined plane down with periodically repeated intervals of body equilibrium (sticking); motions up and down with intervals of sticking; motion with periodic stops and changes in the direction of velocity. A qualitative description of these modes is given and conclusions about their stability are obtained.

The work was carried out under the grant of the Russian Scientific Foundation (project No 19-11-00116) at Moscow Aviation Institute (National Research University).

References:

1. Bardin B.S., Panev A.S. On dynamics of a rigid body moving on a horizontal plane by means of motion of an internal particle // Vibroengineering PROCEDIA, 2016, Vol. 8, pp 135-141.
2. Bardin, B. S. and Panev, A. S., On Periodic Motions of the Body with Movable Internal Mass over a Horizontal Surface, Trudy MAI, 2015, vol. 84, Art. 5 (Russian).
3. Bardin B.S., Panev A.S. On the Motion of a Body with a Moving Internal Mass on a Rough Horizontal Plane // Rus. J. Nonlin. Dyn., 2018, Vol. 14, no. 4, pp. 519-542.
- 4.
5. Бардин Б.С., Панёв А.С. О поступательном прямолинейном движении твердого тела, несущего подвижную внутреннюю массу // Современная математика. Фундаментальные направления. 2019, Т. 65, № 4, С. 557-592.
6. Sorokin, K. S., Motion of a Mechanism along a Rough Inclined Plane Using the Motion of Internal Oscillating Masses, J. Comput. Syst. Sci. Int., 2009, vol. 48, no. 6, pp. 993–1001; see also: Izv. Akad. Nauk. Teoriya i Sistemy Upravleniya, 2009, no. 6, pp. 150–158.

Использование алгоритма Ковачича в анализе орбитальной устойчивости маятниковых движений твердого тела с неподвижной точкой

Савин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается динамика твердого тела с неподвижной точкой. Предполагается, что центр масс тела лежит на одной из главных осей инерции этого тела, вычисленных относительно неподвижной точки. Такая геометрия масс допускает существование семейства частных решений, при которых одна из главных осей инерции тела занимает неизменное горизонтальное положение, а центр масс тела совершает маятниковые движения

в вертикальной плоскости. В данной работе рассматривается вопрос об орбитальной устойчивости этих движений, при этом дополнительно предполагается, что возмущения не выходят с нулевого уровня проекции кинетического момента на вертикаль.

Уравнения движения были выписаны в гамилтоновой форме. В окрестности невозмущенного движения были введены локальные координаты и выписаны уравнения возмущенного движения. Затем была проведена процедура изоэнергетической редукции на уровне энергии соответствующем маятниковым движениям и были выписаны линеаризованные уравнения движения системы с полутора степенями свободы. С помощью замены переменных и подстановок решение этой системы удалось свести к решению однородного дифференциального уравнения второго порядка с коэффициентами в виде рациональных функций от независимой переменной. Для поиска лиувиллевых решений этого уравнения использовался алгоритм Ковачича [1]. В тех случаях, когда удавалось получить лиувиллевы решения, была построена матрица монодромии линеаризованной системы. На основе анализа которой были сделаны выводы об орбитальной устойчивости в линейном приближении исходной системы. Часть выводов согласуются с результатами, полученными Бардиным Б.С. в работе [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-01-00637.

Литература:

1. Kovacic J. An algorithm for solving second order linear homogeneous differential equations // Journal of Symbolic Computation. 1986. V. 2. P. 3–43.
2. Бардин Б.С. Об орбитальной устойчивости маятникообразных движений твердого тела в случае Бобылева-Стеклова // Нелинейная динамика. 2009. Т. 5, № 4. С. 535–550.

Application of the Kovacic Algorithm to the analysis of the orbital stability of pendulum-like motions of a rigid body with a single fixed point

Savin A.A.

MAI, Moscow, Russia

The dynamics of a rigid body with a fixed point is considered. It is assumed that the center of mass of a body lies on one of the main axes of inertia of this body, calculated relative to a fixed point. Such a geometry of masses allows for the existence of a family of particular solutions, in which one of the main axes of inertia of the body occupies a constant horizontal position, and the center of mass of the body performs pendulum-like movements in the vertical plane. In this paper, the question of the orbital stability of these motions is considered, while it is additionally assumed that the perturbations do not leave the zero level of the projection of the angular momentum onto the vertical.

The equations of motion were written in Hamiltonian form. In the neighbourhood of the unperturbed motion, local coordinates were introduced and the equations of the perturbed motion were written. Then the procedure of isoenergetic reduction was carried out at the energy level corresponding to the pendulum motions and the linearized equations of motion of the system with one and a half degrees of freedom were written. By means of a change of variables and substitutions, the solution of this system was reduced to the solution of a homogeneous second-order differential equation with coefficients in the form of rational functions of an independent variable. To find Liouville solutions to this equation, the Kovacic algorithm was used [1]. In those cases when it was possible to obtain Liouville solutions, the monodromy matrix of the linearized system was constructed. Based on the analysis of which, conclusions were made about the orbital stability in the linear approximation of the original system. Some of the conclusions are consistent with the results obtained by B.S.Bardin in [2].

This work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 20-01-00637.

References:

1. Kovacic J. An algorithm for solving second order linear homogeneous differential equations // Journal of Symbolic Computation. 1986. V. 2. P. 3–43.

2. Bardin B.S. On the orbital stability of pendulum-like motions of a rigid body in the Bobylev-Steklov case // *Nonlinear Dynamics*. 2009. T. 5, No. 4. P. 535–550.

Математическая модель низкотемпературного СВЧ-разделения водонефтяной эмульсии

¹Саитов Р.И., ¹Абдеев Р.Г., ²Фатыхов М.А., ¹Абдеев Э.Р.

¹БашГУ, ²БГПУ им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В докладе предлагается технология низкотемпературного СВЧ-разделения водонефтяной эмульсии при переработке нефтешламов. Приведены результаты теоретического обоснования и проверки адекватности математической модели, позволяющей определить оптимальные параметры СВЧ-техники и технологии.

Применяемые в настоящее время наиболее распространенные способы переработки нефтешламов [1-3], при малоэффективности и дороговизне имеют целый ряд других недостатков, основными из которых являются сжигание «полезных» углеводородов, образование в больших объемах углекислого газа и других токсичных газов, низкая производительность, невозможность использования при низких температурах, неприменимость для труднорасплаиваемых высоковязких нефтешламов.

В настоящее время одним из перспективных технологий в нефтедобывающей и перерабатывающей отраслях считается высокочастотная и сверхвысокочастотная обработка углеводородных соединений для снижения вязкости при транспортировке, разделения устойчивых эмульсий при первичной переработке нефти, утилизации буровых нефтешламовых отходов и отходов нефтехимического производства [4]. При этом разделение фаз эмульсии происходит, в основном, за счет нагрева, что требует использования мощных (десятки кВт) СВЧ-генераторов. Для определения параметров СВЧ-поля, нами предложена математическая модель, связывающая напряженность электрического поля с известными дипольными моментами связанных зарядов и электронной, атомной и релаксационной (ориентационной) поляризуемостью. Расчеты показали, что требуемая мощность для эффективного разрушения глобул водонефтяной эмульсии не превышает 100 Вт. Экспериментальная проверка полученных результатов расчета показала адекватность предложенной модели на частоте 10 ГГц и мощности генератора 3 Вт. Таким образом, в работе доказана возможность низкотемпературного СВЧ-разделения водонефтяных эмульсий. Реализация предложенного подхода позволит устранить недостатки существующих методов.

Литература:

1. Дудышев В.Д. Утилизация нефтешламов // *Экология и промышленность России*. 2002. №5. С. 20-23.
2. Бакастова Н. В. Решение проблем по переработке нефтешламов методом центробежной сепарации // *Нефтяное хозяйство*. 2005. №3. С. 36-37.
3. Ягафарова Г.Г., Ильина Е.Г., Гатауллина Э.М., Барахнин В.Б. Биотехнологический метод очистки нефтешлама // *Транспорт и хранение нефтепродуктов*. 2004. №9. С. 10-13.
4. Бахонина Е. И. Подготовка к утилизации углеводородсодержащих отходов с применением микроволн // *Баш.хим.ж.* – 2006. – Т.13, №3. – С.70-72.

Mathematical model of low temperature microwave separation of water-oil emulsion

¹Saitov R.I., ¹Abdeev R.G., ²Fatykhov M.A., ¹Abdeev I.R.

¹BashSU, Ufa, Russia

²BSPU n.a. M. Akmulla, Ufa, Russia

The report proposes a technology for low-temperature microwave separation of an oil-water emulsion during oil sludge processing. The results of the theoretical substantiation and verification of the adequacy of the mathematical model, which makes it possible to determine the optimal parameters of microwave techniques and technologies, are presented.

Most common methods for oil sludge processing, that are currently used, with low efficiency and high cost, have a number of other disadvantages, the main of which are the burning of “useful”

hydrocarbons, large amounts of carbon dioxide and other toxic gases formation, low productivity, and the inability to use at low temperatures, inapplicability to separate high-viscosity oil sludge.

Currently, one of the promising technologies in the oil and refining industries is considered to be high-frequency and super high-frequency processing of hydrocarbon compounds to reduce viscosity during transportation, stable emulsions separation during primary oil refining, drilling oil sludge and petrochemical waste utilization. In this case, the phase separation of the emulsion occurs mainly due to heating, which requires the use of powerful (tens of kW) microwave generators. The report proposes a mathematical model for determining the parameters of the microwave field, linking the electric field strength with the known dipole moments of bound charges and electronic, atomic and relaxation (orientational) polarizability. Calculations have shown that the required power for effective destruction of globules of an oil-water emulsion does not exceed 100 W. An experimental check of the obtained calculation results showed the adequacy of the proposed model at a frequency of 10 GHz and a generator power of 3 W. Thus, the work proved the possibility of low-temperature microwave separation of oil-water emulsions. Implementation of the proposed approach will eliminate the disadvantages of existing methods.

Решение задач отделения объектов в присутствии носителя в пакете программ Логос

¹Саразов А.В., ¹Козелков А.С., ²Корнев А.В., ²Останко Д.А.

¹РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров, Россия

²Компания «Сухой», г. Москва, Россия

Моделирование процессов газовой динамики представляет, как научный интерес в целях изучения физических явлений, так и практический интерес при проектировании новых образцов техники. В настоящее время в инженерной практике повышенное внимание уделяется особенностям работы техники с учётом движения её составных частей. В качестве примера можно рассмотреть отделение различных грузов от летательного аппарата. Численное моделирование подобных задач в пакетах программ инженерного анализа осуществляется с использованием разных подходов.

Численное моделирование задач аэродинамики, осложнённых движением границ, в пакете программ ЛОГОС [1] осуществляется при помощи технологии расчёта на сетках с перекрытиями [2]. Данная технология предполагает генерацию независимых дискретных моделей для различных объектов, которые в процессе моделирования объединяются. Вычислительный процесс на основе технологии перекрывающихся сеток учитывает наличие наложений и обеспечивает взаимодействие разделённых сеток.

Выбор того или иного подхода для численного моделирования определяется непосредственно постановкой задачи, и в подавляющем большинстве случаев он очевиден. Однако, существуют задачи, в которых необходимо применять несколько расчетных технологий в виду невозможности полного описания физических процессов только за счет одного подхода. В этом случае необходимо совместное или связанное моделирование.

В работе приводятся реализованные физико-математические модели для задач численной газовой динамики с подвижными элементами конструкции. Также приводится решение характерных задач авиационной промышленности, демонстрирующее работоспособность реализованных моделей пакета программ ЛОГОС.

1. Погосян М.А., Савельевских Е.П., Шагалиев Р.М., Козелков А.С., Стрелец Д.Ю., Рябов А.А., Корнев А.В., Дерюгин Ю.Н., Спиридонов В.Ф., Цибереv К.В.. Применение отечественных суперкомпьютерных технологий для создания перспективных образцов авиационной техники // Журнал ВАНТ, сер. Математическое моделирование физических процессов. – 2013. Вып.2. С. 3-17.

2. Дерюгин Ю.Н., Саразов А.В., Жучков Р.Н.. Особенности построения методики расчёта на сетках типа «Химера» для неструктурированных сеток // Математическое моделирование. – 2017. Т. 29, № 2. – С. 106-118.

Solving problems of separating objects in the presence of a carrier in the Logos

¹Sarazov A.V., ¹Kozelkov A.S., ²Kornev A.V., ²Ostanko D.A.

¹RFNC-VNIEF, Sarov, Russia

²Sukhoi Company, Moscow, Russia

Simulation of gas dynamics processes is of both scientific interest in order to study physical phenomena, and practical interest in the design of new types of technology. At present, in engineering practice, increased attention is paid to the peculiarities of the operation of equipment, taking into account the movement of its components. As an example, consider the separation of various cargoes from an aircraft. Numerical modeling of such problems in engineering analysis software packages is carried out using different approaches.

Numerical modeling of aerodynamic problems complicated by the motion of boundaries in the LOGOS software package [1] is carried out using the technology of calculation on grids with overlapping [2]. This technology involves the generation of independent discrete models for various objects, which are combined in the modeling process. The computational process based on the overlapping mesh technology takes into account the presence of overlaps and ensures the interaction of the divided meshes.

The choice of one or another approach for numerical modeling is determined directly by the formulation of the problem, and in the overwhelming majority of cases it is obvious. However, there are problems in which it is necessary to apply several computational technologies in view of the impossibility of a complete description of physical processes using only one approach. In this case, collaborative or linked modeling is required.

The paper presents the implemented physical and mathematical models for problems of numerical gas dynamics with movable structural elements. The solution of typical problems of the aviation industry is also given, demonstrating the efficiency of the implemented models of the LOGOS software package.

1. Pogosyan M.A., Savel'evskikh E.P., Shagaliev R.M., Strelets D.Yu., Ryabov A.A., Kornev A.V., Deryugin Yu.N., Spiridonov V.F., Tsiherev K.V. Application of Russian Supercomputer technologies to develop the advanced models of aviation technology. J. VANT. Ser. Mat. Mod. Fiz. Proc. 2013. V. 2. P. 3–18. (in Russian).

2. Deryugin, Y.N., Sarazov, A.V., Zhuchkov, R.N. Specific features of the Chimera calculation methodology implemented for unstructured grids. Math Models Comput Simul 9, 587–597 (2017).

Математическая модель измерения концентрации частиц в жидкости в процессе их осаждения

¹Сахабудинов А.Ж., ¹Сахабудинова Г.И., ³Хуссейн С.М.Р.Х., ¹Данилаев М.П.,

¹Анфиногентов В.И., ²Куклин В.А.

¹КНИТУ-КАИ, ²КФУ, г. Казань, Россия

³Университет Карбалы, г. Карбала, Ирак

Один из подходов к управлению механическими свойствами дисперсно армированных полимерных композитов основан на формировании полимерной оболочки на поверхностях дисперсных частиц их наполнителя [1, 2]. При формализации математических моделей механических свойств таких композитов учитывают механические свойства полимерной матрицы, дисперсных частиц, а также полимерной оболочки на поверхностях этих частиц [3]. При этом вопрос определения количественных и численных оценок механических свойств полимерных оболочек остается открытым. Определить их характеристики можно путем оценки молекулярной массы полимера [4].

Один из подходов к измерению молекулярной массы полимера основан на анализе процесса и длительности седиментации молекул полимера и частиц наполнителя в растворителе. На основе анализа времени седиментации, оценивается средневзвешенная молекулярная масса полимера.

Предложена математическая модель динамического измерения концентрации двух типов частиц в жидкости в процессе их седиментации, основанная на контроле светопропускания при прохождении лазерного излучения через раствор с частицами. Измерительная система

состоит из кварцевой кюветы, в которой находится раствор частиц. С одной стороны кварцевого контейнера в раствор направляется лазерное излучение, а с другой стороны находится фотоприемник. Лазерное излучение испытывает рассеяние Рэлея, что оказывает влияние на интенсивность светового потока, на фотоприемнике. Концентрация частиц в области светового луча пропорциональна интенсивности светового потока.

Математическая модель рассматривает седиментацию частиц под действием силы тяжести с учетом гидростатической подъемной силы, силы сопротивления движению, влияния теплового броуновского движения жидкости на движение частиц и неупругого столкновения частиц. Для каждого типа частиц предполагается нормальное распределение масс, диаметров и плотностей.

Интегрирование производится в три этапа. На первом этапе вычисляется перемещение всех частиц за счет сил тяжести, силы Архимеда и сил сопротивления. На втором этапе текущие скорости и координаты частиц корректируются с учетом теплового движения молекул жидкости. На третьем этапе осуществляется оценка вероятности взаимного неупругого соударения частиц. При завершении текущего шага интегрирования определяется общая площадь всех частиц, располагающихся в области нахождения лазерного луча.

Проведен расчет для осаждения частиц двух типов – оксида алюминия и полимерных частиц в этилацетате. Данные расчетов количественно и качественно подтверждено экспериментальными данными.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (соглашение номер 075-03-2020-051/3 от 09.06.2020, номер темы fzsu-2020-0021) в части постановки физической задачи моделирования, верификации данных и полученных результатов и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение номер 075-03-2020-051, номер темы fzsu-2020-0020) в части построения математической модели и её реализации.

Литература:

1. Ахмадеев А.А., Богослов Е.А., Данилаев М.П. и др. Влияние толщины полимерной оболочки на поверхностях субмикронных частиц наполнителя на свойства полимерной композиции // Механика композитных материалов. 2020. Т. 56. № 2. С.357.

2. Шилько С.В., Плескачевский Ю.М., Панин С.В., Черноус Д.А. Анализ механических свойств трансверсально-изотропных композитов с учетом межфазного слоя // Вестник национальной академии наук Белоруссии. 2014. №1. С.12.

3. Астафуров С.В., Шилько Е.В., Овчаренко В.Е., Псахье С.Г. Исследование влияния свойств межфазных границ на механические характеристики металлокерамических композитов // Физическая мезомеханика. 2014. Т.17. № 3. С. 53.

4. Rajib Ghosh Chaudhuri, Santanu Paria Core/Shell Nanoparticles: Classes, Properties, Synthesis Mechanisms, Characterization, and Applications// Chem. Rev. 2012. V.112. № 4. P.2373.

Mathematical model for measuring a concentration of particles in a liquid during their sedimentation

¹Sakhabutdinov A.Zh., ¹Sakhabutdinova G.I., ³Hussein S.M.R.H., ¹Danilaev M.P.,

¹Anfinogentov V.I., ²Kuklin V.A.

¹KNRTU-KAI, ²KFU, Kazan, Russia

³University of Karbala, Karbala, Iraq

One of the approaches to controlling the mechanical properties of dispersion-reinforced polymer composites is based on the formation of a polymer shell on the surfaces of dispersed particles of their filler [1, 2]. When formalizing mathematical models of the mechanical properties of such composites, the mechanical properties of the polymer matrix, dispersed particles, and also the polymer shell on the surfaces of these particles are taken into account [3]. At the same time, the question of determining the quantitative and numerical estimates of the mechanical properties of polymer shells remains open. Their characteristics can be determined by evaluating the molecular weight of the polymer [4].

One of the approaches to measuring the molecular weight of a polymer is based on the analysis of the process and duration of sedimentation of polymer molecules and filler particles in a solvent. Based on the sedimentation time analysis, the weighted average molecular weight of the polymer is estimated.

The mathematical model is proposed for dynamic measurement of the concentration of two types of particles in a liquid during their sedimentation, based on the control of light transmission when laser radiation passes through a solution with particles. The measuring system consists of a quartz cell containing a solution of particles. On one side of the quartz container, laser radiation is directed into the suspended matter, and on the other side, a photodetector is placed. Laser radiation undergoes Rayleigh scattering, which affects the intensity of the light flux, on the photodetector. The concentration of particles in the region of the light beam is proportional to the intensity of the light flux.

The mathematical model considers the sedimentation of particles under the action of gravity, taking into account the hydrostatic lifting force, the force of resistance to motion, the effect of the thermal Brownian motion of the fluid on the motion of particles, and an inelastic collision of particles. For each type of particles, a normal distribution of masses, diameters, and densities are assumed.

Integration is carried out in three stages. At the first stage, the movement of all particles is calculated due to the forces of gravity, the force of Archimedes, and the forces of resistance. At the second stage, the velocities and coordinates of particles are corrected taking into account the thermal motion of liquid molecules. At the third stage, the probability of mutual inelastic collision of particles is estimated. At the end of the current step of integration, the total area of all particles located in the region of the laser beam is determined.

A calculation was carried out for the deposition of particles of two types – aluminum oxide and polymer particles in ethyl acetate. The calculated data are quantitatively and qualitatively confirmed by experimental data.

M.P. Danilaev and V.A. Kuklin were funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-03-2020-051/3, topic No. fzs-2020-0021) in part of physical task formulation, data and results verification. A.Zh. Sakhabutdinov was funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-03-2020-051, topic No. fzs-2020-0020) in part of mathematical model construction, training and tuning, and realization.

References:

1. Akhmadeev A.A., Bogoslov E.A., Danilaev M.P. i dr. Vlianie tolshchiny` polimernoj` obolochki na poverkhnostiakh submikronny`kh chastice napolnitelia na svoi`stva polimernoj` kompozitsii // *Mehanika kompozitny`kh materialov*. 2020. T. 56. № 2. S.357. (In Russian)
2. Shil'ko S.V., Pleskachevskii` Iu.M., Panin S.V., Chernous D.A. Analiz mehanicheskikh svoi`stv transversal'no-izotropny`kh kompozitov s ucheto mezhfaznogo sloia // *Vestnyk natsional'noi` akademii nauk Belorussii*. 2014. №1. S.12. (In Russian).
3. Astafurov S.V., Shil'ko E.V., Ovcharenko V.E., Psakh'e S.G. Issledovanie vlianiia svoi`stv mezhfazny`kh granic na mehanicheskie karakteristiki metallokeramicheskikh kompozitov // *Fizicheskaia mezomehanika*. 2014. T.17. № 3. S. 53. (In Russian).
4. Rajib Ghosh Chaudhuri, Santanu Paria Core/Shell Nanoparticles: Classes, Properties, Synthesis Mechanisms, Characterization, and Applications// *Chem. Rev.* 2012. V.112. № 4. P.2373.

Математическое моделирование процесса дожигания токсичных компонентов в потоке путем многоступенчатого подвода водяного пара

Сембиев О.З.

ЮКТУ, г. Шымкент, Казахстан

Рассматривается стационарное течение в канале высокотемпературной газовой смеси с учетом неравновесного протекания химических реакций в одномерном приближении [1,2]. Предполагается, что многокомпонентная смесь продуктов сгорания на выходе в канал имеет

высокую температуру, при течении ее по каналу производится подвод различных реагентов с целью нейтрализации токсичных компонентов. Подвод массы может осуществляться в любом количестве сечения по длине канала. Считаем, что подвод массы сосредоточенный (локальный), т.е. происходит мгновенное перемешивание ее с газом [1]. Считается, что при этом все химические реакции замораживаются, происходит полное перемешивание, после чего вновь начинаются химические реакции. Решение данной задачи предлагается проводить в обратной постановке с заданным по длине распределением какого-либо из газодинамических параметров: давления, плотности или скорости. При численном моделировании необходимо определять параметры смеси, образовавшейся после подвода массы и параметры неравновесного течения в канале. Считается, что зону подвода массы и перемешивания можно рассматривать как канал постоянного сечения, а подвод массы осуществляется под заданным углом к скорости потока. Тогда для определения параметров смеси в сечениях подвода массы имеем систему уравнений, выражающих законы сохранения импульса, сохранения массы энергии и уравнения состояния. Таким образом, получается замкнутая система дифференциально-алгебраических уравнений для определения параметров стационарного одномерного течения химически реагирующей смеси в канале.

Были проведены параметрические расчеты неравновесного течения в канале при подводе массы в нескольких сечениях (многоступенчатый впрыск). Основная цель исследования заключалась в определении возможностей дожигания окиси углерода путем подвода водяного пара. Было показано существование оптимального значения массовой доли впрыска для ступеней впрыска, обеспечивающее минимум величины массовой доли СО при заданной длине канала и составе исходной смеси.

Литература:

1. Волков В.А., Мусин В.Р., Пирумов У.Г., Прохоров М.Б., Стрельцов В.Ю. Численное моделирование процесса нейтрализации окиси углерода дозированным впрыском воды в высокотемпературную смесь продуктов сгорания. Известия РАН. МЖГ. 1993. № 6. С. 96.
2. В.Ю.Гидаспов. Численное моделирование химически неравновесного течения в сопле жидкостного ракетного двигателя. Вестник МАИ, М., Изд-во МАИ-ПРИНТ, Т. 20 № 2, 2013, с. 90-97.

Mathematical modeling of the afterburning of toxic components in a flow by a multi-stage water steam supply

Sembiyev O.Z.

SKSU, Shymkent, Kazakhstan

A steady flow in a channel of a high-temperature gas mixture is considered taking into account the nonequilibrium course of chemical reactions in the one-dimensional approximation. It is assumed that the multicomponent mixture of combustion products at the outlet to the channel has a high temperature; when it flows through the channel, various reagents are supplied to neutralize toxic components. The mass supply can be carried out in any number of sections along the channel length. We assume that the mass supply is concentrated (local), i.e. it is instantly mixed with gas. It is believed that in this case, all chemical reactions are frozen, complete mixing occurs, after which chemical reactions begin again. It is proposed to solve this problem in the opposite formulation with a given along the length distribution of any of the gas-dynamic parameters: pressure, density, or velocity. In numerical modeling, it is necessary to determine the parameters of the mixture formed after the mass supply and the parameters of the nonequilibrium flow in the channel. It is believed that the zone of mass supply and mixing can be considered as a channel of constant cross-section, and the mass supply is carried out at a given angle to the flow rate. Then, to determine the parameters of the mixture in the sections of mass supply, we have a system of equations expressing the laws of conservation of momentum, conservation of energy mass, and the equation of state. Thus, a closed system of differential-algebraic equations is obtained for determining the parameters of a stationary one-dimensional flow of a chemically reacting mixture in a channel.

Parametric calculations of the nonequilibrium flow in the channel were carried out when the mass was supplied in several sections (multistage injection). The main objective of the study was to

determine the possibilities of post-combustion of carbon monoxide by supplying water vapor. The existence of the optimal value of the mass fraction of injection for the injection stages was shown, providing a minimum value of the mass fraction of CO for a given length of the channel and the composition of the initial mixture.

Исследование математической модели теплообмена для композиционных материалов

¹Сидикова А.И., ¹Танана В.П., ²Марков Б.А.

¹ЮУрГУ, ЧВВАКУШ, г. Челябинск, Россия

Многие технические конструкции включают в себя камеру внутреннего сгорания. Для нормального функционирования таких конструкций важную роль играет правильное управление процессом нагрева этой камеры. Для этого необходима объективная информация о температуре внутри нее. Заметим, что непосредственное измерение температуры внутри камеры невозможно. Для решения этой проблемы внутреннюю стенку камеры покрывают теплозащитным слоем и помещают термодатчик между этим слоем и корпусом камеры. Качество тепловой диагностики технической конструкции существенно зависит от используемых численных методов решения, соответствующих обратных граничных задач [1]. Отметим, что достаточно широкий класс обратных граничных задач представлен в [2]-[4].

В данной работе решается обратная задача об определении температуры на внутренней стенке полого шара, состоящего из композиционных материалов. Поскольку к решению подобных задач предъявляются высокие требования точности, то необходимо получение гарантированных оценок, которые существенно повышают надежность численных результатов. В связи с этим в работе проведено аналитическое исследование прямой задачи, которое позволило применить к решению обратной граничной задачи метод проекционной регуляризации, а также получить гарантированную оценку погрешности решения задачи. Известно, что этот метод является оптимальным по порядку. Кроме того, при получении оценки был использован модуль непрерывности обратной задачи, который является одновременно и модулем условной корректности. Таким образом, дано полное описание математической модели данной задачи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание ФЕНУ-2020-0022).

1. Алифанов О.М., Артюхин Е.А., Румянцев С.В. Экстремальные методы решения некорректных задач и их приложения к обратным задачам теплообмена. – М.: Наука, 1988.

2. Кабанихин С. И. Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: Сиб. науч. изд-во, 2009. 457–с; Перевод: Kabanikhin S.I. Inverse and Ill-posed problems.-- Novosibirsk: Siberian Academic Press, 2009.

3. Тихонов А.Н., Гласко В.Б. К вопросу о методах определения температуры поверхности тела // Ж. вычисл. матем. и матем. физики--1967.--№ 4.-- С. 910--914.

4. Лаврентьев М.М., Романов В.Г., Шипатский С.П. Некоторые задачи математической физики и анализа. М.: Наука, 1980. 285–с.;

Research of a mathematical model of heat transfer for composite materials

¹Sidikova A.I., ¹Tanana V.P., ²Markov B.A.

¹SUSU, ²Chelyabinsk Higher Military School of Navigators, Chelyabinsk, Russia

Many technical designs include an internal combustion chamber. Proper control of the heating process of this chamber plays an important role for the normal functioning of such structures. This requires objective information about the temperature inside it. Note that it is not possible to directly measure the temperature inside the chamber. To solve this problem, the inner wall of the camera is covered with a heat shield layer and a thermocouple is placed between this layer and the camera body. The quality of thermal diagnostics of a technical design significantly depends on the numerical methods used for solving the corresponding inverse boundary value problems [1]. Note that a fairly broad class of inverse boundary value problems is presented in [2]-[4].

In this paper, we solve the inverse problem of determining the temperature on the inner wall of a hollow ball consisting of composite materials. Since high accuracy requirements are imposed on solving such problems, it is necessary to obtain guaranteed estimates that significantly increase the reliability of numerical results. In this regard, an analytical study of the direct problem was carried out, which allowed us to apply the projection regularization method to the solution of the inverse boundary problem, as well as to obtain a guaranteed estimate of the error in solving the problem. This method is known to be optimal in order. In addition, the continuity module of the inverse problem, which is also a conditional correctness module, was used to obtain the estimate. Thus, a complete description of the mathematical model of this problem is given.

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (government order FENU-2020-0022).

1. Alifanov O.M., Artyukhin E.A., Rumyantsev S.V. Extreme methods for solving ill-posed problems and their applications to inverse heat transfer problems. - Moscow: Nauka, 1988.

2. Kabanikhin S.I. Inverse and Ill-posed problems.-- Novosibirsk: Siberian Academic Press, 2009.

3. Tikhonov V.N., Glasko V.B. Methods of determining the surface temperature of a body. U.S.S.R. Comput. Math.Math.Phys., 1967, vol. 7,no.4,pp. 267-273.

4. Lavrent'ev M.M., Romanov V.G. and Shishatsky S.P. Ill-posed problems of mathematical physics and analyses.-- Moscow: Nauka Publ.,1980.

Компьютерное моделирование инфузионных технологий при производстве полимеркомпозитных конструкций

¹Снежина Н.Г., ²Жиляев И.В., ²Шевцов С.Н., ³Хуанг Ч.П.

¹ДГТУ, ²ЮНЦ РАН, ³ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

Постоянно растущий интерес инженеров и ученых к технологии вакуумной инфузии в производстве широкого спектра полимерных композиционных конструкций, благодаря простоте ее реализации, невысокой стоимости и трудоемкости подготовки производства, вызвал большое количество исследований этого процесса. Суть процесса и некоторые его разновидности подробно описаны в обзорных и исследовательских работах. Процесс вакуумной инфузии с его различными модификациями и усовершенствованиями успешно применяется в авиастроении, судостроении, автомобилестроении, ветроэнергетике и космической промышленности. Области рационального применения большинства разновидностей процесса (VARTM, VAP, RFI, SRCIMP, DP-RTM и др.) подробно классифицированы. Эти разновидности ориентированы на производство различных видов композитных конструкций, а также используют специальные средства для ускорения и улучшения насыщения преформы смолой, такие как высокопроницаемые среды (HPM) и полупроницаемые мембраны.

Принцип реализации процессов вакуумной инфузии достаточно прост. На поверхность формы укладывают слои однонаправленных волокон или ткани и накрывают тонким вакуумным мешком. После герметизации технологического блока к нему подключаются порты подачи жидкой смолы и вакуумной магистрали. После включения вакуумного насоса атмосферное давление, действуя на поверхность вакуумного мешка, сжимает пористую преформу, в то время как жидкая смола начинает двигаться и заполнять сухую преформу из-за разницы давлений внутри нее. К сожалению, во многих случаях эта технология не обеспечивает достаточной повторяемости и качества изготавливаемых деталей. Вариации процесса VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding) и причины ухудшения качества рассматривались во многих теоретических и экспериментальных исследованиях. Основными технологическими проблемами, препятствующими внедрению данного процесса в промышленности, являются:

- медленная или плохо контролируемая пропитка преформы смолой;
- образование сухих пятен;
- плохая повторяемость процесса и низкая надежность готовых композитных деталей.

Поскольку метод проб и ошибок для отладки процесса требует больших затрат времени, материалов и усилий, а также не всегда позволяет получить все данные, необходимые для разработки оптимального технологического процесса, усилия ученых и инженеров направлены на разработку адекватного теоретического описания и средств компьютерного моделирования вакуумной инфузии, способных прогнозировать развитие процесса во времени с учетом всех происходящих явлений, включая сжатие преформы, уменьшение ее пористости и проницаемости при сжимающем атмосферном давлении, изменение рабочего давления в частично заполненной преформе, а также ее теплофизических свойств и вязкости смолы, зависящей от температуры и степени полимеризации. Первое из таких программных средств LIMS, и разработанные позже системы компьютерного моделирования PAM-RTM, RTM-WORKS, 3DINFIL, RTMSim, Moldex3D RTM основаны на законе Дарси для зависимости приведенной скорости смолы от градиента рабочего давления и так называемом методе конечных элементов/контрольных объемов (FE/CV), теоретические основы которого были представлены в 90-х годах XX века.

Значительное улучшение возможности адекватной реконструкции процесса может быть достигнуто путем прямого моделирования состояния фронта смолы с помощью уравнения фазового поля, которое не требует искусственного построения контролируемых объемов, присущих FE/CV методу, с учетом особенностей распространения жидкой смолы в не полностью насыщенной преформе, описываемой уравнением Ричардса, как представлено. По-видимому, впервые такой подход был реализован при решении задачи о границе раздела двух разных жидкостей. В представленной статье использован аналогичный подход в упрощенной форме для моделирования процесса вакуумной инфузии без учета термокинетических и реологических превращений, дополненный учетом тепловых, кинетических и реологических эффектов на примере процесса вакуумной инфузии преформы со сложной 3D-геометрией.

К разрабатываемой системе моделирования был сформулирован следующий перечень требований:

- Геометрия моделируемой композитной конструкции должна быть максимально приближена к исходной, лучше всего импортированной из ее CAD модели.
- Модель процесса должна правильно описывать распространение фронта смолы, чтобы с достаточной точностью и надежностью определять вероятные местоположения внутренних (inner dry spots) и примыкающих к границе преформы (outer dry spots) сухих участков.
- Модель процесса должна позволять легко изменять количество и расположение портов для подачи смолы и вакуума.
- Модель должна учитывать изменение пористости и проницаемости преформы из-за изменения сжимающего давления, вызванного распространением фронта смолы.
- Модель процесса должна правильно описывать кинетические и реологические превращения в смоле в зависимости от времени и температуры.
- Модель процесса должна эффективно использоваться и как автономный инструмент моделирования, и как прямая задача, предназначенная для повторного вызова модулем оптимизации.

Прямая связанная задача моделирования, важнейшим компонентом которой является уравнение Кана-Хиллиарда, описывающее эволюцию границы раздела заполненного смолой и вакуумированного участков пористой преформы, содержит также уравнение Ричардса с модификацией Ван Генухтена, описывающее течение смолы в пористой среде с более высокой точностью, чем традиционно используемое уравнение Дарси за счет учета частичной заполненности, уравнение теплопроводности с внутренним источником изотермического тепла, выделяемого полимеризующейся смолой, и автокаталитическое уравнение, описывающее процесс полимеризации движущейся смолы. Перечисленные уравнения связаны посредством группы переменных, включающей распределенное, зависящее от расположения фронта смолы компрессионное давление в преформе, которое определяет ее пористость, проницаемость для смолы и воздуха, зависящую от времени, температуры и степени полимеризации вязкость смолы, описываемую модифицированным

соотношением типа Кастро-Макоско, позволяющим исключить численную неустойчивость, вызванную переходом смолы из жидкого в гелеобразное состояние. Зависимости реологических и теплофизических свойств преформы, частично заполненной смолой, воздухом, были заимствованы из справочной литературы, данных производителя и аналитически описаны для удобства их использования при вариации режимов процесса. С целью снижения вычислительной трудоемкости проницаемость многослойной тканой преформы предполагалась изотропной. Все процессы рассматривались на макроуровне, и для описания таких локальных характеристик системы, как плотность, коэффициент температуропроводности, удельная теплоемкость использовалось правило смесей. Давление вакуумного порта изменялось с периодом 3 мин, что позволяло отслеживать процесс замыкания "вакуумных ловушек" в ходе симуляции путем определения среднего давления.

Представленная постановка задачи реализована в пакете конечно-элементного моделирования Comsol Multiphysics 5.5. Разработанный программный инструментарий был ориентирован на решение прямой задачи моделирования процесса вакуумной инфузии трехмерных композитных конструкций авиационного применения сложной геометрии типа оболочки. Конкретная деталь, для которой производилось исследование, представляла собой элемент фюзеляжа вертолета с двойной кривизны с двумя окнами, толщиной 3 мм и габаритами ~1000*600 мм, изготавливаемый из углеткани и эпоксидного связующего Toray ER450. На данном этапе исследования моделирование использовалось для поиска наилучшего расположения портов подачи вакуума и смолы, а также для рационального выбора температурных режимов. Целью симуляций было понимание закономерностей распространения смолы в преформе, чтобы исключить образование непропитанных зон при максимально коротком времени заполнения преформы.

Решение нестационарной задачи производилось с шагом по времени 30 с от начального состояния вплоть до полной полимеризации смолы – 6 часов. Продолжительность симуляций составляла около 2 часов на компьютере с процессором i7. В процессе симуляции имелась возможность анализировать временные диаграммы усредненных по объему и локальных максимальных значений температуры, степени полимеризации смолы и ее скорости, вязкости, степени заполнения связующим всей преформы и областей, примыкающим к вакуумным портам, пористости, проницаемости преформы а также давлений в пустой и заполненных областях, что позволяло диагностировать моменты прекращения подачи смолы и начало ее желатинизации. Детальный анализ результатов постпроцессинга по завершении симуляций позволял выявлять критические ситуации: остановку фронта связующего в связи с образованием внутренних "вакуумных ловушек", желатинизацией и отверждением связующего из-за перегрева или, наоборот, из-за недостаточного снижения вязкости, а также в результате ранней блокировки вакуумных портов смолой, что предотвращает удаление из преформы оставшегося воздуха.

Для снижения влияния сопутствующего диффузионного механизма, присущего уравнению фазового поля, который может заставлять смолу медленно диффундировать в незаполненную область даже при ее очень высокой вязкости, используется дополнительный модуль постобработки результатов моделирования. Чтобы избежать такого ошибочного результата этот модуль определяет момент захлопывания "вакуумной ловушки" в преформе, определяет ее границы, а затем моделирует их движение под действием действующего давления со стороны окружающего полимера.

Рассмотренные примеры моделирования вакуумной инфузии при различных схемах расположения портов вакуума и подачи смолы показывают, что разработанные программный инструментарий позволяет моделировать процесс инфузии композитных конструкций сложной формы с высокой точностью и приемлемой вычислительной трудоемкостью.

Computer modeling of the infusion technologies at the manufacturing of polymeric composite structures

¹Snezhina N.G., ²Zhilyaev I.V., ²Shevtsov S.N., ³Huang C.P.

¹DSTU, ²SSC RAS, ³SFU, Rostov-on-Don, Russia

The production of composite structures using vacuum infusion technology is used in various industries due to its low cost, labor intensity, and simplicity of the required equipment. However, ensuring the quality of the process requires a significant investment of time using the trial and error method, the consumption of expensive materials, which makes the development of process modeling tools relevant.

The systems LIMS, PAM-RTM, RTM-WORKS, 3DINFIL, RTMSim, Moldex3D RTM developed to date are based on the Finite Element / Control Volume (FE/CV) method, which uses special means to monitor the resin movement in a porous preform. Modifications of the FE/CV method allow eliminating the remeshing at each time step due to the continuous movement of the boundary, but introduce an error caused by the occurrence of skewed and inverted elements that arise in the case of complex geometry of the part. At the same time, the problem of the formation of dry spots in the infused preform is not solved with the required accuracy and reliability due to the difficulties of reconstructing the movement of the resin front.

According to the approach used in this work, the evolution of the resin front is described by the phase field equation. Its solution allows direct tracking of the interface, does not require a regular grid, a computational area of a simple form, which is important for composite structures of complex geometry. The phase-field variable determines the value of the local filling of the preform with resin. The Richards equation models the behavior of saturation and permeability of the preform as a function of compression pressure and porosity, the kinetic equation describes the evolution of the resin degree of cure and, therefore, its viscosity, and the equation of thermal conductivity describes the thermal state of the infused preform.

In this work, it is proposed to determine the moments of dry spots formation and localization by using a technique that assumes a cyclic change in pressure in the vacuum port area and determination of the average pressure in the unfilled zones of the preform at each step of integration over time.

The capabilities of the developed toolkit are illustrated on a group of CAD models of composite structures with geometry such as three-dimensional shells. Due to the high sensitivity of the resin front to the quality of the FE mesh, the original CAD models of the parts were subjected to topological corrections and local simplifications.

Распознавание событий на видео с помощью ансамбля глубоких нейросетевых моделей с явным выделением признаков

¹Сошников Д.В., ²Валиева Я.А., ³Тим Скарф

¹МАИ, ²Microsoft, г. Москва, Россия

³British Petroleum, г. Лондон, Великобритания

В последнее десятилетие наблюдается стремительный прогресс в использовании методов глубокого обучения для решения задач компьютерного зрения. В то время как традиционные задачи обработки статических изображений в основном успешно решены, задача классификации сложных событий на видео представляет существенный интерес с точки зрения практического применения. Эта задача является более сложной, поскольку нам необходимо принимать во внимание как пространственную структуру, так и временное поведение объектов в последовательности изображений.

Целью данной работы является обнаружение событий в спортивных видео, например, столкновение автомобилей в гонке Formula-E, или гол в футбольном соревновании. Важной проблемой в решении этой задачи является ограниченность обучающей выборки, поскольку количество положительных примеров не слишком велико. В этом случае мы не можем рассчитывать на автоматическое извлечение признаков с помощью богатой нейросетевой модели, и перспективным кажется подход с явным выделением релевантных признаков, что

существенно сокращает объем параметров модели, и позволяет обучать её на небольшом количестве примеров (300-600).

В нашей работе использовались три набора признаков:

- VGG-эмбединги отдельных кадров изображения, что позволяет автоматически извлекать высокоуровневые пространственные признаки, и впоследствии отслеживать динамику их изменения.

- Гистограмма распределения модуля и направления векторов полнокадрового оптического потока, которая показывает основные направления движения объектов в кадре и их скорости.

- Аналогичная гистограмма сфокусированного оптического потока для обнаруженного ключевого объекта, такого, как машина или игрок.

На основе извлеченных признаков был натренирован нейросетевой классификатор с архитектурой трехмерной сверточной сети, что позволяет обнаруживать и классифицировать пространственно-временные зависимости в потоке признаков. В результате была получена точность объединенного классификатора в районе 75%, в то время как при использовании одного из наборов признаков точность была в районе 70%.

Предобработка видео осуществлялась на кластере Microsoft Azure с использованием Azure Batch Service. Для тренировки модели использовался сервис Azure Machine Learning.

Recognition at video using an ensemble of deep neural network models with explicit feature detection

¹Soshnikov D.V., ²Valieva Y.A., ³Scarfe T.

¹MAI, ²Microsoft, Moscow, Russia

³British Petroleum, London, Great Britain

The usage of Deep Learning in Computer Vision has progressed dramatically over the last decade. While traditional computer vision problems deal with static images, sometimes we need to analyze and classify complex events in videos. This problem is more difficult, because we need to take into account both spatial (visual) features of objects, as well as their temporal behaviour.

The goal of the project is to be able to detect complex events in videos, for example, car collisions in Formula-E racing videos, or goals in a football match. One of the characteristics of those problems is that there are not too many positive examples of such events in a dataset, because they happen quite rarely. For example, in one season of football games we can have on average about 100-200 goal events, which is not a large number when it comes to deep learning.

This fact requires us to do some manual feature extraction from videos, and then train a classifier on top of those extracted features. This dramatically reduces the number of parameters in our model, making it trainable on relatively small training datasets.

Many approaches for simple event classification have been previously suggested [1]. One approach proposed in [2] considers two streams of data static frame images, as well as dynamic properties of image changes over time. Thus, resulting neural network would have quite complex architecture, taking several streams of data as input.

In our approach, we extend this approach by using three streams of data:

A histogram distribution of magnitudes and directions of dense optical flow vector field [3]

A histogram distribution of magnitudes and directions of focused optical flow, which is constructed after object detection of objects of interest [4]

A VGG-16 embedding field that encapsulates some high-level object features

To extract both temporal and spatial feature dependence we pass those streams through 3-dimensional convolutional neural network, and then through dense classifier. Only the parameters of 3D CNN and the classifier take part in training.

Алгоритмы численного моделирования газодинамического взаимодействия частицы с ударным слоем

Способин А.В., Ревизников Д.Л.
МАИ, г. Москва, Россия

Работа посвящена численному моделированию обтекания тела сверхзвуковым потоком газа с примесью частиц, подробный обзор исследований по данному вопросу приведён в [1].

Методами численного моделирования исследуется случай движения одиночной высокоинерционной частицы в ударном слое перед круговым цилиндром с плоским торцом, обтекаемым сверхзвуковым газовым потоком, для которого имеются результаты стендовых испытаний [2]. Частица движется против набегающего потока вдоль оси симметрии цилиндрического торца и пройдя ударную волну, вызывает перестроение картины течения, связанное с возникновением ударно-волновых и вихревых структур, а также формирование импактной струи, направленной на обтекаемую поверхность.

Движение газовой фазы описывается системой двумерных нестационарных уравнений Навье-Стокса в цилиндрической системе координат. Используются адаптивные декартовы сетки в сочетании с методом погруженной границы с фиктивными ячейками для описания граничных условий на поверхности. Задача решается явным методом с применением TVD-монотонизированной схемы второго порядка точности по пространству. Потоки через границы вычислительных ячеек рассчитываются методом AUSM+ [3]. Представленная модель используется как в крупном масштабе при расчёте течения газа у преграды, так и в мелком для моделирования обтекания газом одиночной частицы. Адаптивные сетки, имеющие статическую структуру и привязанные к телам, скользят друг относительно друга, обмениваясь на каждом вычислительном шаге параметрами газа вдоль границы локальной области расчёта, связанной с частицей.

Для решения уравнений газовой динамики используется технология OpenCL, позволяющая реализовать параллельные вычисления на графических процессорах с двойной точностью и при этом не зависеть от конкретного производителя аппаратного обеспечения.

Проведены численные расчёты, соответствующие условиям экспериментов [2]. Полученные шпирен-картины возмущённого ударного слоя, а также циклические колебания параметров газовой фазы у поверхности тела, демонстрируют хорошее соответствие экспериментальным данным. Наблюдается кратное локальное усиление теплового потока при прохождении возмущений вдоль поверхности, при этом области значительного усиления чередуются с зонами ослабления.

Построенная математическая модель и разработанное программное обеспечение позволяет детально исследовать воздействие одиночной крупной частицы на ударный слой у поверхности тела, обтекаемого сверхзвуковым газовым потоком. Дальнейшее развитие проекта предполагает реализацию трёхмерной модели на вычислительном кластере для исследования коллективных эффектов от нескольких частиц на ударный слой.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0013.

Литература:

1. Варакин А.Ю. Обтекание тел дисперсными газовыми потоками // Теплофизика высоких температур. 2018. Т. 56. № 2. С. 282-305.
2. Holden M.S., Gustafson G.Q., Duryea G.R, Hudack L.T. An Experimental Study of Particle-Induced Convective Heating Augmentation // AIAA Paper. 1976. № 76-320.
3. Kitamura K., Eiji S. Towards shock-stable and accurate hypersonic heating computations: A new pressure flux for AUSM-family schemes // Journal of Computational Physics. 2013. V. 245. P. 62-83.

Numerical simulation of gas-dynamic interaction between particle and shock layer

Sposobin A.V., Reviznikov D.L.

MAI, Moscow, Russia

This work is dedicated to numerical simulation of the supersonic dusted gas flow around blunt body. A detailed review of research in this area is given in [1].

The motion of a single high-inertia particle in the shock layer in front of a circular cylinder with a flat face, streamlined by a supersonic gas flow, are investigated by numerical simulation methods in regimes, for which the results of bench tests are available [2].

The particle moves against the incident flow along the body's axis of symmetry. Having passed the shock wave, it causes a rearrangement of the flow pattern associated with the appearance of shock-wave and vortex structures and impact jet directed at the body surface.

The axisymmetric gas flow is described by a system of two-dimensional non-stationary Navier-Stokes equations in a cylindrical coordinate system. Adaptive Cartesian meshes are used in combination with the immersed boundary method with ghost cells to implement boundary conditions on the surface. The problem is solved by an explicit method using TVD-monotonized second-order scheme. The flows through the edges of computational cells are calculated by the AUSM+ method [3]. The presented model is used both on a large scale when calculating the gas flow near an obstacle and on a small scale to simulate a gas flow around a single particle. Adaptive grids, having a static structure and attached to bodies, slide relative to each other and exchange gas parameters at each computational step along the boundary of the local computational domain associated with the particle.

The OpenCL technology is used to solve the gas dynamics equations. Parallel computations on GPUs with double precision are implemented for various hardware.

Numerical calculations that correspond to the experimental conditions was carried out. The schlieren images of the perturbed shock layer and cyclic fluctuations of the gas flow parameters near the body surface obtained in numerical simulation has a good agreement with experimental data. The maximum values of pressure and heat flux to the surface during the oscillatory process can be several times higher than the values for an undisturbed stationary flow.

Developed mathematical model and software make it possible to study in detail the impact of a single high-inertial particle on the shock layer near the body streamlined by supersonic gas flow. Further development of the project involves the implementation of a three-dimensional model on a computational cluster to study the collective effects of several particles on the shock layer.

The research was carried out within the framework of the state assignment issued by the Ministry of Education and Science of Russia; project number FSFF-2020-0013.

References:

1. A. Yu. Varaksin Gas-solid flows past bodies, TVT, 56:2 (2018), 282–305; High Temperature, 56:2 (2018), 275–295
2. Holden M.S., Gustafson G.Q., Duryea G.R, Hudack L.T. An Experimental Study of Particle-Induced Convective Heating Augmentation // AIAA Paper. 1976. № 76-320.
3. Kitamura K., Eiji S. Towards shock-stable and accurate hypersonic heating computations: A new pressure flux for AUSM-family schemes // Journal of Computation Physics. 2013. V. 245. P. 62–83.

Автоматическая разметка лидарных данных с помощью изображения камеры

Стоколесов М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Сегментация объектов сцены является одной из ключевых подзадач, составляющих управление беспилотным автомобилем, которая в настоящее время решается с помощью машинного обучения. При этом для точной сегментации требуется качественный датасет, создание которого обычно требует большого количества человеческих усилий, в особенности если речь идет о лидарных данных.

В настоящей работе рассмотрено решение задачи автоматической разметки полученных с помощью лидара облаков точек дорожной сцены, основанное на использовании сегментации изображения камеры.

Для каждой сцены предложенный способ авторазметки состоит из следующих шагов:

Осуществить сегментацию изображения камеры.

Спроецировать лидарные точки на сегментированное изображение.

Присвоить каждой точке метку класса региона, которому она соответствует.

Применить на сегментированном облаке алгоритм k-ближайших соседей.

Перенести недостающую сегментацию с предыдущих сцен.

Сегментировать исходное изображение камеры можно с помощью любого известного метода, например, с помощью сети ResNet [1] и ее модификаций. Выбор метода не может нарушить работу алгоритма, однако сильно влияет на его качество. Для того, чтобы отобразить лидарные точки на изображение нужно знать следующие параметры: матрицу внутренней калибровки камеры, матрицу ректификации и матрицу перехода. После отображения каждой точке облака присваивается метка класса пикселя, которому она соответствует. Затем на полученной т.н. “сырой” сегментации облака точек применяется эффективная GPU-версия алгоритма k-ближайших соседей, которая позволяет значительно уменьшить количество таких артефактов, как контуры объектов на фоне, появляющихся из-за размытых краев 2D-сегментации, а также устранить шумы, сделав сегментацию более стабильной. Завершающим шагом является перенос сегментации с предыдущих сцен для точек, покинувших поле зрения камеры, в результате чего обеспечивается более полный охват сцены.

Также в работе для полученного датасета приведены результаты специальным образом обученного алгоритма сегментации облаков точек и рассмотрены другие существующие способы разметки датасетов, такие как [2] и [3].

Работа выполнена в рамках исследований, проводимых в лаборатории интеллектуального транспорта НКБ ВС Центра когнитивного моделирования МФТИ.

Lidar data autolabeling using camera image

Stokolesov M.S.

MAI, Moscow, Russia

Scene objects segmentation is one of the main subtasks of self-driving car control, which is currently being solved using machine learning. At the same time, accurate segmentation requires a high-quality dataset, the creation of which usually requires a lot of human effort, especially when it comes to lidar data.

In this paper, we consider solution of the road scene point cloud autolabeling problem, based on the use of camera image segmentation.

For each scene, the proposed autolabeling method consists of the following steps:

Segment the camera image.

Project lidar points onto a segmented image.

Give each point a label of the region class it corresponds to.

Apply the k-nearest neighbors algorithm on the segmented cloud.

Transfer missing segmentation from previous scenes.

This method allows segmenting the original camera image using any known method, for example, using the ResNet [1] and its modifications. The choice of the method cannot disrupt algorithm correctness, but it strongly affects its quality. In order to display the lidar points on the image, you need to know the following parameters: the internal calibration matrix of the camera, the rectification matrix and the transition matrix. After displaying, each point in the cloud is assigned a label of the pixel class to which it corresponds. Then on the received so-called “raw” point cloud segmentation an efficient GPU version of the k-nearest neighbors algorithm is applied, which can significantly reduce the number of artifacts such as outlines of objects in the background that appear due to blurry edges of 2D segmentation, as well as eliminate noise, making the

segmentation more stable. The final step is to use segmentation from previous scenes for points that have left the camera's field of view, resulting in more complete coverage of the scene.

Also this work contains point cloud segmentation results of the algorithm trained on the builded dataset, and other existing methods of marking up datasets, such as [2] and [3], are considered.

The work was completed within the research of Intelligent Transport Laboratory SDB CS, Center for Cognitive Modeling, Moscow Institute of Physics and Technology.

Особенности реализации параллельного алгоритма в решателе iceFoam при моделировании обтекания 2D тела и нарастании льда по модели SWIM

Стрижак С.В., Кошелев К.Б., Мельникова В.Г.

ИСП РАН, г. Москва, Россия

Изучение процессов обледенения летательных аппаратов является актуальной проблемой. Для 3D моделирования явления обледенения в ИСП РАН разрабатывается собственный решатель iceFoam на базе открытой библиотеки OpenFOAM v1912 [1]. Газокапельный поток описывается на основе Эйлер-Лагранжевого подхода. Нарастание льда может определяться различными моделями, предполагающими наличие жидкой пленки. В настоящий момент имеется реализация термодинамической модели по теории мелкой воды SWIM (Shallow Water Icing Model) [2] и модели Майерса [3].

Для обеспечения необходимой корректности вычислений поверхности льда используется динамическая сетка. Движение сетки в области пленки осуществляется на основе метода биссектрис [4], движение сетки в области газокапельного потока – на основе решения уравнения Лапласа. Математическая модель включает в себя уравнения Рейнольдса и модель турбулентности Спаларт-Аллармаса. Построенный таким образом решатель может быть применен для достаточно широкого круга задач (цилиндр, профили крыла NASA0012, GLC-305, крыло), однако предъявляет сравнительно высокие требования к вычислительным ресурсам, поскольку в одной системе моделируются процессы с существенно разными пространственными и временными масштабами.

К сожалению, распределение по процессорам в автоматическом режиме сеток газокапельного потока и пленки приводит к аварийному завершению вычислений. Поэтому совершенно необходимо отработать методику параллельных расчетов. Так, в частности, была разработана утилита, позволяющая распределять соседние ячейки из разных областей по одинаковым ядрам. Другая проблема заключается в том, что использование Эйлер-Лагранжевого подхода, несмотря на его хорошую физическую обоснованность, приводит к необходимости более тонкой балансировки эйлеровой сетки и лагранжевых жидких капелек при распределении по разным ядрам процессоров.

В настоящее время при возрастании числа ядер процессоров с 1 до 32 ускорение составляет примерно 16. Такое ускорение пока является приемлемым, однако, необходима дальнейшая работа по повышению эффективности параллельных вычислений при дальнейшем увеличении числа используемых ядер для случая моделирования обтекания 3D тел. Расчеты проводились на вычислительном кластере ИСП РАН.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-13016.

Литература:

1. Кошелев К.Б., Мельникова В.Г., Стрижак С.В. Разработка решателя iceFoam для моделирования процесса обледенения. Труды Института системного программирования РАН. 2020; 32(4): 217-234. [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2020-32\(4\)-16](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2020-32(4)-16)
2. Bourgault Y., Beaugendre H., Habashi W. Development of a shallow-water icing model in FENSAP-ICE. Journal of Aircraft. 2000, vol. 37, pp. 640-646.
3. T. G. Myers, Extension to the Messinger Model for Aircraft Icing. AIAA JOURNAL. 2001, 39(2). pp. 211-218.
Bourgault-Côté S., Hasanzadeh K., Lavoie P., Laurendeau E. Multi-Layer Icing Methodologies for Conservative Ice Growth. 7th European Conference for Aeronautics and Aerospace Sciences (EUCASS). DOI: 10.13009/EUCASS2017-258. 15 p.

The features of implementing a parallel algorithm in the iceFoam solver for modeling flow around a 2D body and ice accretion using the SWIM model

Strijhak S.V., Koshelev K.B., Melnikova V.G.

ISP RAS, Moscow, Russia

The study of aircraft ice accretion processes is an urgent problem. The iceFoam solver is being developed for 3D modeling of the ice accretion phenomenon in ISP RAS using the OpenFOAM v1912 library [1]. The flow is described using the Euler-Lagrangian approach. The ice accretion can be determined by various models that assume the presence of a liquid film. Currently, there is an implementation of the thermodynamic models based on the Shallow Water theory SWIM (Shallow Water Icing Model) [2] and the Myers model [3].

To ensure the necessary correctness of ice surface calculations, a dynamic grid is used. The motion of the grid in the film region is based on the bisector method [4], and the motion of the grid in the gas – droplet flow region is based on the solution of the Laplace equation. The mathematical model includes the Reynolds equations and the Spalart-Allmaras turbulence model. The solver can be used for a fairly wide range of tasks (cylinder, airfoils NACA0012, GLC-305, wing), but it imposes relatively high requirements on computing resources, since processes with significantly different spatial and temporal scales are modeled.

Unfortunately, the automatic distribution of flow and film grids across processors leads to an emergency termination of calculations. Therefore, it is absolutely necessary to work out the method of parallel calculations. So a utility was developed that allows to distribute neighboring cells from different regions to the same cores. Another problem is that the use of the Euler-Lagrangian approach, despite its good physical validity, leads to the need for finer balancing of the Euler grid and Lagrangian liquid droplets when distributed across different processor cores.

Currently, when the number of processor cores increases from 1 to 32, the acceleration is approximately 16. This acceleration is still acceptable, however, further work is needed to improve the efficiency of parallel calculations with a further increase in the number of cores used for the case of modeling the flow of 3D bodies. The calculations were performed on the high-performance cluster of ISP RAS.

The reported study was funded by RFBR, project number № 19-29-13016.

References:

1. Koshelev K.B., Melnikova V.G., Strijhak S.V. Development of iceFoam solver for modeling ice accretion. Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS (Proceedings of ISP RAS). 2020;32(4):217-234. (In Russ.) [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2020-32\(4\)-16](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2020-32(4)-16).

2. Bourgault Y., Beaugendre H., Habashi W. Development of a shallow-water icing model in FENSAP-ICE. Journal of Aircraft. 2000, vol. 37, pp. 640–646.

3. T. G. Myers, Extension to the Messinger Model for Aircraft Icing. AIAA JOURNAL. 2001, 39(2), pp. 211–218.

Bourgault-Côté S., Hasanzadeh K., Lavoie P., Laurendeau E. Multi-Layer Icing Methodologies for Conservative Ice Growth. 7th European Conference for Aeronautics and Aerospace Sciences (EUCASS). DOI: 10.13009/EUCASS2017-258. 15 p.

Особенности применения метода геометрической многоуровневой инициализации для ускорения решения задач аэродинамики на произвольных неструктурированных сетках

¹Стручков А.В., ¹Козелков А.С., ²Стрелец М.Ю.

¹РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров, Россия

²МАИ, г. Москва, Россия

В работе представлен алгоритм ускорения решения задач аэродинамики на основе применения геометрической многоуровневой инициализации [1]. Разработанный алгоритм способствует ускорению сходимости численного решения и повышению его устойчивости на этапе формирования и установления структуры течения. Идея метода состоит в генерации последовательности грубых сеток [2-3] на основе исходной с решением на каждой из них и последующей интерполяцией полученного решения при переходе на более подробную сетку.

После расчета на самой подробной сетке, из построенных сеток в последовательности, полученное решение интерполируется на исходную сетку, являясь при этом начальной инициализацией на ней. Алгоритм разработан для применения на любых неструктурированных сетках с ячейками произвольной формы. При генерации последовательности грубых сеток в качестве критерия для объединения ячеек в новые контрольные объемы используется соотношение, рассчитываемое через площадь граней и объем ячейки. Процесс объединения ячеек основан на анализе взвешенного графа. Анализ влияния на устойчивость и скорость сходимости решения сделан на тестовых задачах – сверхзвуковое течение в канале с клином [4] и гиперзвуковое обтекание конуса [5]. В результате получено, что применение алгоритма геометрической многоуровневой инициализации сократило время расчета на 23%.

Литература:

1. Francescatto J., Dervieux A. A semi-coarsening strategy for unstructured multigrid based on agglomeration // *International Journal for Numerical Methods in Fluids*. 1998. Vol. 26. No. 8. P. 927-957.
2. Lasselaine J.V., Zingg D.W. An investigation of directional-coarsening and line-implicit smoothing applied to agglomeration multigrid // *AIAA Paper*. 2003. No. 2003-3435.
3. Doru Caraeni, Jonathan Weiss, Wayne Smith. Continuity Convergence Acceleration of a Density-Based Coupled Algorithm // *Fluid Dynamics and Co-located Conferences*, June 24-27, 2013, San Diego, 21st AIAA Computational Fluid Dynamics Conference. AIAA 2013-2962.
4. Повх И.И. Техническая гидромеханика. 2-е изд. доп. Л. // «Машиностроение», 1976 – 504с.
5. Краснов Н.Ф. Аэродинамика тел вращения // Издательство: Машиностроение. Год: 1964. Стр.: 573.

Features of the application of the method of geometric multilevel initialization to accelerate the solution of aerodynamic problems on arbitrary unstructured grids

¹Struchkov A.V., ¹Kozelkov A.S., ²Strelets M.Yu.

¹RFNC-VNIIEF, Sarov, Russia

²MAI, Moscow, Russia

The paper presents an algorithm for accelerating the solution of aerodynamics problems based on the use of geometric multilevel initialization. The developed algorithm facilitates the acceleration of the convergence of the numerical solution and an increase in its stability at the stage of formation and establishment of the flow structure. The idea of the method is to generate a sequence of coarse grids based on the initial one with a solution on each of them and then interpolate the resulting solution when passing to a more detailed grid. After calculating on the most detailed mesh, from the constructed meshes in sequence, the resulting solution is interpolated to the original mesh, being the initial initialization on it. The algorithm is designed to be applied to any unstructured mesh with free-form cells. When generating a sequence of coarse meshes, the ratio calculated through the area of the faces and the volume of the cell is used as a criterion for combining cells into new control volumes. The process of combining cells is based on a weighted graph analysis. The analysis of the influence on the stability and the convergence rate of the solution is made on test problems - supersonic flow in a channel with a wedge and hypersonic flow around a cone. As a result, it was found that the application of the multilevel geometric initialization algorithm reduced the calculation time by 20%.

Модели глубокого обучения с подкреплением в задачах управления портфелем ценных бумаг

¹Судаков В.А., ²Ехлаков П.С.

¹МАИ, ²Финансовый университет, г. Москва, Россия

Торговые агенты на основе алгоритмов обучения с подкреплением предполагают обучение во взаимодействии со средой, описывающей состояние финансовых инструментов и счетов. В отличие от других методов формирования портфеля (например, динамической оптимизацией или использованием алгоритмов обучения с учителем) агент учится

оптимальной аллокации доступных средств, взаимодействуя напрямую со средой. Исследование и анализ задач и проблем обучения с подкреплением в той или иной форме проводились в следующих областях и разделах: информатика, нейронауки (нейробиология), психология, экономика, инженерия, условные рефлексы (исследования И.П. Павлова) и оперантное обусловливание (работы Б.Ф. Скиннера), оптимальное управление и ряде других.

За последние 3 года исследователи изучили применимость как специальных фреймворков алгоритмов обучения с подкреплением, так и ряда классических подходов. Значительная доля исследований посвящена безмодельным алгоритмам обучения с подкреплением, например, PPO или DDPG, отчасти потому, что данные методы позволяют агенту неявно делать выводы о динамике финансового рынка. С другой стороны, торговые агенты, использующие безмодельные алгоритмы, не учитывают проблемы стабильности и риска, связанные с нестационарной структурой данных. Чаще всего ядром вознаграждения является доходность портфеля, включая логарифмическую, или его стоимость с учетом или без учета транзакционных издержек из-за того, что такие функции проще имплементировать и они требуют меньших вычислительных ресурсов. Более комплексные метрики, например, дифференциальный коэффициент Шарпа, позволяют достичь более высоких результатов с точки зрения стабильности и риска и несущественно снижают доходность. Стоит заметить, что подавляющее большинство исследователей фокусируются на ценовых исторических данных по инструментам для формирования состояния торгового агента. Исчерпывающее описание состояния финансового рынка, включающего национальные счета, сентименты инвесторов, данные финансовой отчетности, статистику по деривативам и т.д. в качестве наблюдения торгового агента до сих пор практически не было исследовано.

Для разработки среды и торговых агентов в данной работе используется язык программирования Python, а также библиотеки NumPy, Pandas (для обработки данных), TensorFlow (для обучения нейросетей).

Deep Reinforcement Learning Models in Portfolio Management Problems

¹Sudakov V.A., ²Ekhlov R.S.

¹MAI, ²Financial University, Moscow, Russia

Trading agents based on reinforcement learning algorithms assume training in interaction with an environment describing the state of financial instruments and accounts. Unlike other methods of portfolio formation (for example, dynamic optimization or the use of supervised learning algorithms), the agent learns the optimal allocation of available funds by interacting directly with the environment. Research and analysis of the tasks and problems of reinforcement learning in one form or another were carried out in the following areas and sections: informatics, neuroscience (neurobiology), psychology, economics, engineering, conditioned reflexes (studies by I.P. Pavlov) and operant conditioning (works by B.F. Skinner), optimal control, and a number of others.

Over the past 3 years, researchers have studied the applicability of both special frameworks for reinforcement learning algorithms and a number of classical approaches. Much research has focused on modelless reinforcement learning algorithms such as PPO or DDPG, in part because these methods allow an agent to implicitly draw inferences about financial market dynamics. On the other hand, salespeople using modelless algorithms do not take into account the stability and risk problems associated with non-stationary data structures. Most often, the core of the reward is the return on the portfolio, including the logarithmic, or its value with or without transaction costs due to the fact that such functions are easier to implement and they require less computing resources. More complex metrics, such as the differential Sharpe ratio, allow you to achieve better results in terms of stability and risk and do not significantly reduce profitability. It should be noted that the overwhelming majority of researchers focus on price historical data on instruments to form the state of a sales agent. Comprehensive description of the state of the financial market, including national accounts, investor sentiments, financial reporting data, statistics on derivatives, etc. as an observation of a sales agent has so far been little explored.

For the development of the environment and sales agents, this work uses the Python programming language, as well as the NumPy, Pandas libraries (for data processing), TensorFlow (for training neural networks).

Обработка суждений экспертов методом нечеткого взвешенного суммирования

¹Судаков В.А., ²Сивакова Т.В.

¹МАИ, ²ИИМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, Россия

Сущность метода экспертных оценок заключается в рациональной организации проведения экспертами анализа проблемы с количественной оценкой суждений и обработкой их результатов. Зачастую на практике приходится сталкиваться с нечисловым характером оценок. Обработка таких оценок вызывает значительную сложность. Как правило в таких задачах ответам экспертам «приписывают» числа, которые обрабатывают методами прикладной статистики. Данные полученные при такой обработке значительно расходятся с «действительными», при этом приходится принимать во внимание, что и оценка объектов дается с погрешностью. Предлагается использовать для учета нечетких суждений экспертов аппарат «мягких» вычислений, теории нечетких множеств.

Пусть эксперты дают нечеткие суждения о конечном множестве объектов оценки. Тогда оценивать объект будем по заданному множеству критериев. На практике в задачах поддержки принятия решений достаточно часто необходимо учитывать мнение нескольких специалистов, и для этого нужно свести нечеткие оценки множества экспертов в единую оценку. Простейший метод решения этой задачи – это дефазификация оценок, но к его недостаткам можно отнести потерю части информации.

Вычислим общую оценку простейшим способом как – нахождение средней нечетких оценок. Назначим экспертам нечеткие веса. Вес эксперта может задать лицо принимающее решение (ЛПР), если оно участвует в процедуре или можем определить правило для его расчета. Например, чем большее количество экспертиз провел эксперт, тем больше его вес. Для задания нечеткой компетентности можно использовать модификаторы нечетких значений, такие как, для нечеткой темы «компетентный эксперт» возможны следующие варианты: «самый компетентный эксперт», «существенно компетентный эксперт», «достаточно компетентный эксперт», «удовлетворительно компетентный эксперт» «малокомпетентный эксперт». Нечеткие веса эксперта могут варьироваться от проекта к проекту, в зависимости от соответствия. Вычисление итоговой оценки будем проводить по стандартной формуле взвешенной суммы.

Эта методика агрегирования нечетких суждений экспертов дает возможность сохранить информацию о размытости и неопределенности суждений эксперта до самого последнего этапа принятия решений. Нечеткая оценка определяет не только «ценность» значения критерия для объекта экспертизы, но и отражает степень уверенности эксперта в данной оценке.

Метод на базе нечеткого взвешенного суммирования позволяет учитывать степень доверия к эксперту и его квалификацию.

Processing judgments of experts by the method of fuzzy weighted summation

¹Sudakov V.A., ²Sivakova T.V.

¹MAI, ²Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia

The essence of the method of expert assessments lies in the rational organization of the analysis of the problem by experts with a quantitative assessment of judgments and processing of their results. In practice, one has to deal with the non-numerical nature of estimates. The processing of such estimates is very complex. In such problems the experts' answers are assigned numbers, which are processed by the methods of applied statistics. The data obtained during such processing significantly diverge from the "real" ones, while one has to take into account that the assessment of objects is given with an error. It is proposed to use the apparatus of "soft" computing, the theory of fuzzy sets, to take into account the fuzzy judgments of experts.

Let the experts give fuzzy judgments about a finite set of objects of assessment. Then we will evaluate the object according to a given set of criteria. In practice, in the problems of decision

support, it is often necessary to take into account the opinion of several specialists, and for this it is necessary to bring the fuzzy estimates of many experts into a single estimate. The simplest method for solving this problem is defuzzification of estimates, but its disadvantages include the loss of some information.

Let us calculate the overall estimate in the simplest way as – finding the average of fuzzy estimates. Let's assign fuzzy weights to the experts. The weight of the expert can be set by the DM if he participates in the procedure or we can define a rule for calculating it. For example, the more examinations the expert conducted, the greater his weight. To specify fuzzy competence, modifiers of fuzzy values can be used, such as, for a fuzzy topic competent expert, the following options are possible: most competent expert, substantially competent expert, sufficiently competent expert, satisfactorily competent expert, incompetent expert. The fuzzy expert weights can vary from project to project, depending on the fit. The final score will be calculated using the standard weighted sum formula.

This technique of aggregating fuzzy judgments of experts makes it possible to preserve information about the fuzziness and uncertainty of expert judgments until the very last stage of decision-making. A fuzzy assessment determines not only the “value” of the criterion value for the object of examination, but also reflects the degree of the expert's confidence in this assessment.

Прогнозирование спроса на новый товар методами машинного обучения

Судаков В.А., Смирнов П.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Задача предсказания спроса на новый товар по его характеристикам и описанию является критической для различных предприятий промышленности, оптовой и розничной торговли, поскольку решение этой задачи позволит оптимизировать производство, менеджмент и логистику с целью максимизировать прибыль и минимизировать затраты. Классические методы предсказания спроса предполагают доступность данных о продажах за некоторый исторический период, что в случае нового товара, очевидно, не так. Большинство работ по исследуемой тематике либо ограничены отдельной категорией товаров, либо прибегают к трудоёмким маркетинговым методам.

В данной работе предложено использовать аппарат глубокого машинного обучения. В работе были использованы данные по новым товарам интернет-магазина Озон. Входными данными алгоритма являются такие характеристики как цена, название, категория и текстовое описание товара. Первая важная задача – выделение признаков. Были испробованы два различных подхода – составление признаков на основе знаний о предметной области и автоматическая генерация методами глубокого обучения. Примерами сформулированных признаков могут служить такие признаки как: “Средние продажи бренда внутри группы товаров в первую неделю появления товаров на складе”, “Отношение цены к средней цене товаров из того же подтипа” и так далее. Для автоматической генерации признаков были использованы нейронные сети класса свёрточные нейронные сети (CNN). Для решения задачи регрессии были использованы различные реализации алгоритма градиентного бустинга, такие как XGBoost, LightGBM, CatBoost. На данный момент качество прогноза WMAPE составляет 46%. В будущих работах предполагается улучшить качество прогнозирования добавлением признаков извлечённых из изображений товаров.

Forecasting New Product Demand Using Machine Learning

Sudakov V.A., Smirnov P.S.

MAI, Moscow, Russia

The problem of predicting the demand for a new product based on its characteristics and description is critical for various industrial enterprises, wholesale and retail trade, since solving this problem will optimize production, management and logistics in order to maximize profits and minimize costs. Classic demand forecasting methods assume the availability of sales data for a certain historical period, which is obviously not the case when concerning a new product. Most of the research papers are either limited to a specific category of goods or use sophisticated marketing methods.

This paper proposes to use a deep machine learning methods. We used data about new products demands from the Ozon online store. The input data of the algorithm are such characteristics as price, name, category and text description of the product. The first important task is feature extraction. Two different approaches have been tried - feature compilation based on domain knowledge and automatic generation using deep learning methods. Examples of formulated features include such features as: "Average brand sales within a group of products in the first week of products in stock", "The ratio of price to average price of products from the same subtype" and so on. For automatic feature generation, neural networks of the convolutional neural networks (CNN) class were used. To solve the regression problem, various implementations of the gradient boosting algorithm were used, such as XGBoost, LightGBM, CatBoost. Now, the forecast accuracy (WMAPE) is about 46%. In future works, it is expected to improve the quality of forecasting by adding features extracted from product images.

Кусочная оценка качества машинного перевода

Судаков В.А., Чабдаров Р.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время существует несколько способов оценки качества машинного перевода; также регулярно предлагаются новые методы оценки качества. Эти методы имеют различную направленность, но все они так или иначе основываются на оценке качества перевода некоторым экспертом. Среди этих методов есть те, которые дают интегральное значение, и те, которые дают векторную оценку по нескольким критериям. Для последних чаще всего используются критерии "fluency" (насколько естественно звучит переведённый текст) и "adequacy" (насколько данный вариант перевода соответствует оригинальному тексту по смысловой нагрузке). Известные методы предлагают "поверхностную" оценку качества, не предоставляют информации о том, какая часть перевода выполнена хорошо или плохо.

Данная работа представляет новый метод оценки качества перевода. Он заключается в том, что перевод делится на несколько частей и каждая отдельная часть оценивается по шкале "хороший перевод", "есть незначительные ошибки", "есть серьёзные ошибки". В качестве частей перевода предлагается взять: грамматическую основу с подлежащим, сказуемым, члены предложения (конкретно дополнение и обстоятельство), именованные сущности (названия городов, имена собственные), фразеологизмы, аббревиатуры, специфические для какой-то области термины. Также предлагается брать интегральную оценку качества перевода всего текста по той же шкале. Для получения оценки предлагается использовать человеческую оценку при помощи ассессоров, имеющих знание исходного и целевого языков перевода. Для такой оценки дополнительно появляется требование согласованности большинства оценок ассессоров с оценками экспертов – людей, чьи оценки считаются достоверными. Данный подход позволит получить более точную оценку качества перевода, а также выяснить, какой из "кусков" предложения вносит наибольший вклад в интегральную оценку качества, используя, например, модель линейной регрессии. Также данную модель в "обученном" виде можно применять для получения интегральной оценки из векторной в некоторой шкале, по которой удобно и просто сравнивать качество вариантов перевода.

Piecewise evaluation of machine translation

Sudakov V.A., Chabdarov R.A.

MAI, Moscow, Russia

Currently there is exist various methods of machine translation evaluation; also new methods are getting proposed periodically. These methods have focus on different specifics, yet they are all based on quality evaluation done by some expert. Alongside these methods are those that make integral evaluation, and those that make vector evaluation. Last ones often use "fluency" (represents how natural translated text looks) and "adequacy" (represents how good this translation variant matches the original text) criteria. Well-known methods propose "shallow" evaluation with no information of what particular piece is translated good or bad.

This report presents new method of translation evaluation. This method is to break translation into several pieces and evaluate each piece, using scale with following values: "good translation", "translation with minor mistakes", "translation with sever mistakes". Following entities are proposed as text pieces: grammatical basis of a sentence with subject and predicate, secondary constituents (adverbial and object in particular), named entities (such as cities' names, proper nouns in general), idioms, abbreviations, terminology of some specific field. Also this report proposes to make integral quality evaluation using same scale as was mentioned before. To make evaluation using of assessors that know both source and target languages of translation is proposed. For such evaluation there comes additional requirement of consistency of majority of assessors' evaluations with evaluations of experts, which are people whose evaluations are reliable. Such approach will allow to get more precise translation evaluation; also it will allow to find out which particular piece makes greater contribution in integral translation evaluation by using, for example, linear regression model. Such trained model is also can be used to make integral evaluation from vector one in some numeric scale, which is useful to compare translations quality.

Методика численного исследования орбитальной устойчивости и бифуркации периодических движений автономных гамильтоновых систем с двумя степенями свободы

Сухов Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается задача о бифуркации и орбитальной устойчивости периодических движений автономных гамильтоновых систем с двумя степенями свободы. Строгому аналитическому решению данной задачи в частных случаях – в окрестности положений равновесия или стационарных движений – посвящены многие работы [1-4]. В данной работе предложена методика численного исследования, позволяющая получать выводы об орбитальной устойчивости и бифуркации периодических движений автономной гамильтоновой системы с двумя степенями свободы для любых допустимых значений параметров задачи. На первом этапе для частных значений параметров строятся так называемые опорные периодические движения, которые могут быть получены как аналитически [1,2], так и численно с помощью метода сечений Пуанкаре. На втором этапе опорные движения численно продолжают по параметрам до границ своих областей существования с помощью алгоритма [5]. Затем строятся диаграммы орбитальной устойчивости и бифуркации полученных движений в виде графиков зависимости их периодов от параметров задачи [6]. Для уточнения и верификации результатов применяется метод сечений Пуанкаре.

В качестве примера в данной работе исследован вопрос об орбитальной устойчивости и бифуркации периодических движений, рождающихся из регулярных прецессий спутника на круговой орбите. В окрестности регулярных прецессий полученные результаты хорошо согласуются с выводами работ [1-3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-01-00637.

1. Маркеев А. П. О нелинейных колебаниях гамильтоновой системы при резонансе 2:1 // ПММ. 1999. Т. 63. С. 757-769.
2. Бардин Б. С. Чекин А. М. О нелинейных колебаниях гамильтоновой системы при резонансе 3:1 // ПММ. 2009. Т. 73.
3. Сокольский А. Г., Хованский С. А. Периодические движения, близкие гиперболоидальной прецессии спутника на круговой орбите // Косм. иссл. 1979. Т. 17. С. 208-217.
4. Schmidt D. S. Periodic solutions near a resonant equilibrium of a Hamiltonian system // Cel. Mech. 9. 1974.
5. Бардин Б. С., Сухов Е. А. Об алгоритме продолжения по параметрам семейств периодических движений автономной гамильтоновой системы с двумя степенями свободы //

LIV Всероссийская конференция по проблемам динамики, физики частиц плазмы и оптоэлектроники / РУДН. 2018.

6. E. A. Sukhov. Bifurcation analysis of periodic motions originating from regular precessions of a dynamically symmetric satellite // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2019. Vol. 15.

Numerical orbital stability and bifurcation analysis method for periodic motions of two DOF autonomous Hamiltonian systems

Sukhov E.A.

MAI, Moscow, Russia

An orbital stability and bifurcation problem for periodic motions of a 2-DOF autonomous Hamiltonian system is considered. Rigorous analytical research of this problem was carried out in multiple works, including [1-4]. However, analytical approach can only be applied to particular cases such as neighborhoods of equilibria and stationary motions. In this work a numerical method is proposed to analyze orbital stability and bifurcation of a 2-DOF Hamiltonian system's periodic motions for every admissible value of a problem's parameters. On the first step the so-called base periodic solutions are obtained for particular values of a problem's parameters either analytically [1,2] or numerically. These solutions are then continued in the problem's parameter space using a numerical method [6] and thus their existence domains are obtained. On the third step orbital stability and bifurcation diagrams are constructed by mapping the motions' periods against the problem's parameters [6]. Poincare sections are then constructed in the neighborhood of bifurcation points and stability domain boundaries to verify the results.

To illustrate the method orbital stability and bifurcation of periodic motions originating from a symmetric satellite's regular precessions were analyzed. The results for the neighborhood of regular precessions correspond to analytical results presented earlier in [1-3].

This work was carried out with financial support from Russian Foundation of Basic Research, project No. 20-01-00637.

1. A. Markeev. On nonlinear oscillations of a Hamiltonian system in case of 2:1 resonance // JAMM. 1999. Vol. 63. P. 757-769.

2. B. Bardin, A. Chekin. On nonlinear oscillations of a Hamiltonian system in case of 3:1 resonance // JAMM. 2009. Vol. 73.

3. A. Sokolskiy, S. Khovanskiy. Periodic motions close to Hyperboloidal precession of a satellite on a circular orbit // Cosmic research 1979. Vol. 17. P. 208-217.

4. Schmidt D. S. Periodic solutions near a resonant equilibrium of a Hamiltonian system // Cel. Mech. 9. 1974.

5. B. Bardin, E. Sukhov. On the Algorithm for Numerical Computation of Periodic Motions of a Hamiltonian System with Two Degrees of Freedom // Abstr. of the 14th All-Russian Conf. on Problems of Dynamics, Physics of Plasma Particles and Optoelectronics / RUDN. 2018.

6. E. A. Sukhov. Bifurcation analysis of periodic motions originating from regular precessions of a dynamically symmetric satellite // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2019. Vol. 15.

Моделирование нестационарных колебаний консольно-закрепленной балки Бернулли-Эйлера с учетом диффузии

¹Файкин Г.М., ²Земсков А.В.

¹МАИ, ²НИИ механики МГУ, г. Москва, Россия

Исследование взаимодействия механических и диффузионных полей является важнейшей задачей в различных областях науки и техники, из-за того, что более точное описание воздействия нагрузок различной физической природы на элементы и конструкции требует более глубокого понимания сути протекающих при этом процессов. Это, в первую очередь, важно при расчете корпусов авиадвигателей, фюзеляжей самолётов и ракет, для которых динамические изменения, связанные с внутренним переносом вещества под действием механической нагрузки, могут привести к катастрофическим последствиям. Понимание законов, описывающих процесс диффузии, позволяет избежать нежелательных изменений в авиаконструкциях, происходящих под влиянием нестационарных нагрузок различного характера. Экспериментально доказано и теоретически обосновано, что внедрение

диффундирующего вещества в твёрдое тело порождает в нём внутренние напряжения, а неоднородное поле напряжений, вызванное внешними причинами, способно влиять на диффузионную кинетику переноса вещества.

В работе рассматривается консольно-закрепленная балка Эйлера-Бернулли, на которую действует сосредоточенная нестационарная нагрузка, приложенная к свободному концу и порождающая напряженно-деформированное состояние с учетом диффузионных процессов. Для математической постановки задачи используется модель упругой диффузии для многокомпонентных сплошных сред. С помощью вариационного принципа Даламбера получены уравнения упругодиффузионных поперечных колебаний балки Эйлера-Бернулли. Решение задачи ищется с помощью метода эквивалентных граничных условий, который заключается в том, что вместо исходной задачи рассматривается вспомогательная задача того же вида, но с граничными условиями, допускающими представление решений в виде рядов Фурье [1,2]. Для этого достаточно поменять способ закрепления концов балки. Далее строятся соотношения, связывающие правые части граничных условий обеих задач. Эти соотношения записываются в виде интегральных уравнений Вольтера 1-го рода.

Полученная система уравнений решается численно с помощью квадратурных формул. Таким образом, разработанный алгоритм позволяет выразить решение задачи с произвольными граничными условиями через известное решение какой-либо задачи того же вида и с той же геометрией области.

На основании полученных решений были найдены перемещения и приращения концентраций компонент, входящих в состав материала балки, а также исследована взаимосвязь между этими физическими полями.

Литература:

1. Земсков А.В., Тарлаковский Д.В., Файкин Г.М. Нестационарный изгиб консольно-закрепленной балки Бернулли-Эйлера с учетом диффузии // Современные проблемы механики сплошной среды: тезисы докладов XX Международной конференции (Ростов-на-Дону, 18–21 июня 2020 г.) / ред. А.О. Ватульян и др.; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. – 208 с.
2. Файкин Г.М., Земсков А.В. Моделирование упругодиффузионных колебаний консольно-закрепленной балки Бернулли-Эйлера // «Гагаринские чтения – 2020»: Сборник тезисов докладов. — М.: МАИ, 2020. – с. 1183-1184.

Simulation of unsteady vibrations of a cantilevered Bernoulli-Euler beam taking into account diffusion

¹Faykin G.M., ²Zevskov A.V.

¹MAI, ²MSU Research Institute of Mechanics, Moscow, Russia

The study of the interaction of mechanical and diffusion fields is an important element in various fields of science and technology, due to the fact that a more accurate description of the effect of loads of different physical nature on elements and structures requires a deeper understanding of the essence of the processes occurring in this case. This is, first of all, important when calculating aircraft engine casings, aircraft and missile fuselages, for which dynamic changes associated with the internal transfer of matter under the action of a mechanical load can lead to catastrophic consequences. Understanding the laws that describe the diffusion process allows avoiding undesirable changes in aircraft structures that occur under the influence of non-stationary loads of various nature. It has been experimentally proven and theoretically substantiated that the introduction of a diffusing substance into a solid generates internal stresses in it, and an inhomogeneous stress field caused by external causes can affect the diffusion kinetics of matter transfer. The paper considers a cantilever-fixed Euler-Bernoulli beam, which is acted upon by a concentrated non-stationary load applied to the free end and generating a stress-strain state taking into account diffusion processes. For the mathematical formulation of the problem, the elastic diffusion model for multicomponent continuous media is used. Using the d'Alembert variational principle, the equations of elastic-diffusion transverse vibrations of the Euler-Bernoulli beam are obtained. These relations are written in the form of Voltaire integral equations of the 1st kind. The

solution to the problem is sought using the method of equivalent boundary conditions, which consists in the fact that instead of the original problem, an auxiliary problem of the same type is considered, but with boundary conditions that allow the representation of solutions in the form of Fourier series [1,2]. To do this, it is enough to change the method of securing the ends of the beam. Further, relations are constructed connecting the right-hand sides of the boundary conditions of both problems. These relations are written in the form of Voltaire integral equations of the 1st kind. Then, the resulting system of equations is solved numerically using quadrature formulas. Thus, the developed algorithm allows one to express the solution of a problem with arbitrary boundary conditions in terms of a known solution of a problem of the same type and with the same geometry of the domain. Based on the solutions obtained, the displacement and increments of the concentrations of the components that make up the material of the beam were found, and the relationship between these physical fields was investigated.

References:

1. Zemskov A.V., Tarlakovsky D.V., Faikin G.M. Unsteady bending of a cantilevered Bernoulli-Euler beam taking into account diffusion // Modern problems of continuum mechanics: abstracts of the XX International Conference (Rostov-on-Don, June 18-21, 2020) / ed. A.O. Vatulyan and others; South Federal University. - Rostov-on-Don; Taganrog: Publishing House of the Southern Federal University, 2020. - 208 p.

2. Faykin G.M., Zemskov A.V. Modeling of elastic diffusion vibrations of a cantilevered Bernoulli-Euler beam // "Gagarin Readings - 2020": Collection of abstracts. - M.: MAI, 2020. - p. 1183-1184.

Исследование процесса слива вязкой жидкости из конусообразной воронки с применением метода VOF

Хегай Е.И., Борзенко Е.И.

ТГУ, г. Томск, Россия

Истечение жидкостей из емкостей широко реализуется в различных отраслях промышленности. В частности, при использовании метода свободного литья при переработке полимерных материалов осуществляется слив жидкости из смесителя с последующим заполнением пресс-формы. При сливе жидкости эволюция свободной поверхности в емкости характеризуется образованием воронки с возможным прорывом газа в пресс-форму. Попадание газа в заполняемый объем приводит к образованию дефектов в монолитности изделия, поэтому возникает необходимость контроля времени достижения фронтом свободной поверхности плоскости сливного отверстия и определения остатков массы жидкости в емкости в этот момент. Кроме того, эволюция формируемой на выходе струи также представляет интерес в целях правильной организации технологического процесса.

В настоящей работе проводится математическое моделирование течения, реализуемого при сливе полимерной композиции из смесителя под действием перепада давления в плоском приближении. Считается, что сливная ёмкость расположена под углом к горизонту. Рассматриваемое течение описывается уравнениями Навье-Стокса и неразрывности. На твердых стенках выполняются условия прилипания. На свободных поверхностях выполняются условия непрерывности нормальных и касательных напряжений.

Сформулированная задача решается численно. Значения скоростей на гранях контрольных объемов разнесенной разностной сетки вычисляются согласно разностным аналогам уравнений движения и неразрывности с применением итерационного цикла. Распределение давления находится с помощью корректирующей процедуры SIMPLE. Движение свободной поверхности реализуется по вычислительной технологии PLIC VOF.

В качестве результатов приведены данные параметрических исследований характеристик процесса слива от основных параметров задачи, таких как избыточное давление и угол наклона сливной ёмкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-08-00412).

Литература:

1. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. Москва: Химия, 1984. 632 с.
2. Новошинцев А. В., Шрагер Г. Р., Якутенок В. А., Милехин Ю. М., Банзула Ю. Б., Карязов С. В. Моделирование процесса истечения вязкой жидкости под действием перепада давления с заполнением канала // Теоретические основы химической технологии. 2009. № 3. С. 341–349.
3. Патанкар С., Численные методы решения задач теплообмена и механики жидкости. Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат. 1984. 152 с.
4. Jang W., Jilesen J., Lien F.S., Ji H. A study on the extension of a VOF/PLIC based method to a curvilinear co-ordinate system // Int. J. Computational Fluid Dynamics. 2008. Vol. 22, N. 4. P. 241–257.

Investigation of the viscous fluid draining from a cone-shaped funnel using the VOF method

Hegaj E.I., Borzenko E.I.
TSU, Tomsk, Russia

Fluid outflows from tanks are frequently found in various industries. In particular, when processing polymeric materials using the casting method, the fluid drains out of a mixing tank and then fills in a mold cavity. Draining of the fluid is provided with the free surface evolution in the tank which is characterized by the funnel formation with a possible gas breakthrough into the mold. The gas ingress into the filled cavity leads to the formation of defects in the solidity of the product. Therefore, it is necessary to control the time instant when the free surface front reaches the plane of the drain hole and to determine the remains of the liquid mass in the tank at the same moment. In addition, the evolution of the fluid stream at the outlet is also of great importance for proper engineering.

In this work, the flow of a polymeric composition when draining out of a mixing tank under the pressure drop is mathematically simulated in the plane approximation. The drain tank is located at an angle to the horizontal. The considered flow is described by the Navier-Stokes and continuity equations. No-slip conditions are specified on solid walls. The condition of continuity of normal and tangential stresses is satisfied on the free surfaces.

The formulated problem is solved numerically. The velocity values on the faces of the control volumes of the staggered difference grid are calculated according to the difference analogs of the equations of motion and continuity within an iterative loop. The pressure distribution is determined using the SIMPLE algorithm. The free surface motion is tracked using the PLIC VOF computing technology.

The results of parametric studies of the drainage process characteristics depending on the main parameters, such as gas pressure and the angle of the drain tank inclination, are presented.

This work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-08-00412).

References:

1. Tadmor Z., Gogos K. Theoretical Foundations of Polymer Processing. Moscow: Khimiya, 1984. 632 p.
2. Novoshintsev A.V., et al. Simulation of a viscous fluid outflow under pressure drop and filling of a channel. Theoretical Foundations of a Chemical Technology. 2009. Vol. 3. P. 341-349.
3. Patankar S., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere Publishing Corporation. 1980. 197 p.
4. Jang W., Jilesen J., Lien F.S., Ji H. A study on the extension of a VOF/PLIC based method to a curvilinear co-ordinate system. Int. J. Computational Fluid Dynamics. 2008. Vol. 22, Iss. 4. P. 241–257.

Программно-моделирующий комплекс для проектирования алгоритмов управления движением сервисного модуля на геостационарной орбите

Хоанг Ву Тан
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время актуальна задача обслуживания геостационарных спутников автоматическими космическими аппаратами (КА). Реализация идеи обслуживания на орбите требует создания высокоточных и устойчивых алгоритмов автономной навигации и управления движением обслуживающего КА. Для отработки и оценки эффективности и стабильности алгоритмов разработан программно-математический комплекс (ПМК), который позволяет проводить моделирование движения КА как в детерминированной, так и в стохастической постановках.

Для выполнения основной задачи ПМК должен обеспечивать совместимость с математическими библиотеками программирования, возможность быстрой модификации структуры проектируемого алгоритма, удобный интуитивно понятный пользовательский интерфейс.

ПМК проектируется и реализуется на основе модульную структуру, при котором модуль моделей бортовых систем КА, модуль модели внешней среды и модуль алгоритмов управления КА создаются независимо от ядра. Такая архитектура ПМК позволяет исследовать различные варианты построения модуля управления. В текущей версии реализуются алгоритмы перевода обслуживающего КА в окрестность рабочей позиции обслуживаемого КА и удержания обслуживающего КА относительно обслуживаемого для инспекции.

Модель движения КА и модель относительного движения получаются путем линеаризации исходной математической модели движения с учетом возмущений в малой окрестности опорной круговой орбиты заданного радиуса. Алгоритмы управления движением центра масс обслуживающего КА на вышеуказанных этапах обслуживания разработаны с помощью комбинированного метода оптимизации.

По результатам моделирования можно подтвердить, что программный комплекс успешно моделирует алгоритмы управления движением обслуживающего КА на разных этапах его функционирования, позволяет оценить эффективность работы алгоритмов, как в классической, так и в стохастической постановках.

Software modeling complex for designing algorithms for controlling the movement of a service module in geostationary orbit

Hoang Vu Tan
MAI, Moscow, Russia

Currently, the problem of servicing geostationary satellites with automatic spacecraft is urgent. The implementation of the idea of on-orbit servicing requires the creation of high-precision and stable algorithms for autonomous navigation and motion control of the servicing spacecraft. To test and evaluate the effectiveness and stability of the algorithms, a software and mathematical complex (SMC) has been developed, which allows modeling the spacecraft motion in both deterministic and stochastic formulations.

To perform the main task, the SMC must provide compatibility with mathematical programming libraries, the ability to quickly modify the structure of the designed algorithm, and a convenient intuitive user interface.

The SMC is designed and implemented based on a modular structure, in which the module models the onboard systems of the spacecraft, the module model of the external environment, and the module for spacecraft motion control algorithm are created independently of the kernel. This architecture of the SMC allows you to explore various options for building a control module. The current version implements algorithms for transferring the servicing spacecraft to the vicinity of the operating position of the serviced spacecraft and control the servicing spacecraft in collocation with serviced for inspection.

The spacecraft motion model and the relative motion model are obtained by linearization of the initial mathematical model of motion, taking into account perturbations in a small vicinity of the reference circular orbit of a given radius. Algorithms for controlling the motion of the center of mass of the servicing spacecraft at the above service stages were developed using a combined optimization method.

The simulation results confirm that the software system successfully simulates the motion control algorithms of the servicing spacecraft at different stages of its operation, makes it possible to evaluate the efficiency of the algorithms, both in the classical and stochastic formulations.

Стабилизация и управление двухколесным гиросtabilизированным роботом

Цветков М.Б.

НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия

Одно из актуальных направлений развития робототехники – создание автоматического транспорта. Многие компании проектируют беспилотные автомобили, автоматические транспортные средства, которые могут передвигаться без участия человека, используя встроенную систему автоматического управления.

В качестве ближайших аналогов были выбраны автомобиль Lit Motors C-1 [1] и самоходное транспортное средство [2]. Прототип электрического двухколесного автомобиля, представляет собой полностью закрытый двухколесный скутер, оснащенный системой автоматической стабилизации с помощью двигателя-маховика. Предполагается, что скутер движется по горизонтальной абсолютно шероховатой плоскости. В докладе обсуждаются проблемы разработки макетного образца скутера и трехмерной конструктивной схемы нового автоматического транспортного средства с системой гиросtabilизации.

Построена математическая модель системы в предположении о том, что оба колеса движутся без проскальзывания и отрыва от поверхности. Указанные условия определяют совокупность неголономных связей, налагаемых на систему. Уравнения движения системы получены с использованием уравнений Лагранжа с неопределенными множителями [3].

Исследовано равномерное прямолинейное движение системы. В малой окрестности заданного движения уравнения динамики системы распадаются на подсистемы продольных и боковых движений. Показано, что подсистема бокового движения является неустойчивой.

Для подсистемы малых боковых движений построено стабилизирующее модальное управление в виде отрицательной обратной связи по отклонениям обобщенных координат и скоростей от значений на программном прямолинейном движении. Проведенное математическое моделирование показывает асимптотическую устойчивость движения системы вдоль заданных траекторий.

Литература:

1. Kee D., Kim Y. Electronic control system for gyroscopic stabilized vehicle, US Patent № 8532915B2, 2010.
2. Keel A. Self-propelled vehicle and articulated mobile chassis thereof: US 2, US, , US Patent № 0100108423A1, 2010.
3. Зацепин М.Ф., Мартыненко Ю.Г., Тиньков Д.В. Уравнения Лагранжа, Воронца, Чаплыгина в задачах динамики мобильных роботов: методическое пособие. М.: Издательство МЭИ, 2005. 32 с.

Stabilization and control of a two-wheeled gyrostabilized robot

Tsvetkov M.B.

NRU “MPEI”, Moscow, Russia

One of the current trends in the development of robotics is the creation of automatic transport. Many companies design self-driving cars, automatic vehicles that can move without human intervention, using a built-in automatic control system.

The Lit Motors C-1 car [1] and a self-propelled vehicle [2] were chosen as the closest analogues. The prototype of an electric two-wheeled car is a fully enclosed two-wheeled scooter equipped with an automatic stabilization system using a flywheel engine. It is assumed that the scooter moves

along a horizontal absolutely rough plane. The report discusses the problems of developing a mock-up model of a scooter and a three-dimensional design scheme for a new automatic vehicle with a gyro-stabilization system.

A mathematical model of the system is constructed under the assumption that both wheels move without slipping or breaking off from the surface. These conditions determine the set of non-holonomic relations imposed on the system. The equations of motion of the system are obtained using Lagrange equations with indefinite multipliers [3].

The uniform rectilinear motion of the system is investigated. In a small neighborhood of a given motion, the equations of system dynamics fall into subsystems of longitudinal and lateral motions. It is shown that the lateral motion subsystem is unstable.

For the subsystem of small lateral movements, a stabilizing modal control is constructed in the form of negative feedback on deviations of the generalized coordinates and velocities from the values on the program rectilinear motion. The mathematical modeling shows the asymptotic stability of the system motion along the specified trajectories.

References:

1. Kee D., Kim Y. Electronic control system for gyroscopic stabilized vehicle, US Patent № 8532915B2, 2010.
2. Keel A. Self-propelled vehicle and articulated mobile chassis thereof: US 2, US, , US Patent № 0100108423A1, 2010.
3. Zatsepin M. F., Martynenko Yu. G., Tinkov D. V. Lagrange, Voronts, Chaplygin Equations in problems of dynamics of mobile robots: a methodological guide. Moscow: MEI Publishing house, 2005, 32 p.

Интеграция X-Plane модели летательного аппарата с Simulink моделью системы управления полетом

¹Чекин А.Ю., ²Куковинец А.В.

¹МАИ, ²ГосНИИАС, г. Москва, Россия

В работе демонстрируется способ интеграции симулятора полета воздушных судов X-Plane с моделью системы управления, реализованной в Simulink. Информационное взаимодействие модели летательного аппарата и системы управления, от двух различных разработчиков программного обеспечения осуществляется посредством сетевого протокола UDP. Интеграция позволяет получить замкнутый контур управления полетом летательным аппаратом. Выходными параметрами с симулятора полета могут быть различные типы данных: вектор состояния объекта (угловые и линейные ускорения и скорости, угловое положение объекта управления – летательного аппарата, его координаты), данные атмосферы (ветровые, температура, давления), гравитационные, магнитные, временные, и другие виды и типы данных. Входными данными в симулятор – выходными из системы управления могут быть как данные управления органами воздействия летательного аппарата (ручка управления самолетом, педали, рычаги управления двигателями), так и параметры отклонения органов управления (рули высоты, элероны, рули направления, отклоняемый вектор реактивной тяги, механизация крыла и т.п.). В качестве летательного аппарата могут быть применены и исследованы различные типы: от дирижабля до квадрокоптера, от концепта до межпланетного корабля. Моделирование осуществляется в режиме реального времени, при этом возможно применение настольных компьютеров. Сложность системы управления и вычислительная мощность имеют влияние на частоту обмена информацией, что позволяет исследовать влияние сложности алгоритмов на устойчивость контуров управления. Интеграция программных продуктов полезна при исследовании и разработке систем управления летательных аппаратов, а также в процессе обучения студентов аэрокосмической отрасли.

X-Plane aircraft model and Simulink control system integration

¹Chekin A.Y., ²Kukovinets A.V.

¹MAI, ²GosNIIAS, Moscow, Russia

The paper shows an approach to integrate the X-Plane aircraft flight simulator with the control system model implemented in Simulink. Communication between the aircraft model and the control system, from two different software developers, is carried out via the UDP network protocol. Integration allows to obtain a closed flight control loop of the aircraft. The output parameters from the flight simulator can be various types of data: the vector space (angular and linear accelerations and velocities, the angular position of the control object - the aircraft, its coordinates), atmospheric data (wind, temperature, pressure), gravitational, magnetic, time, and other types of data. The input data to the simulator - the output from the control system can be both control data for the cockpit controls (aircraft control stick, pedals, engine control levers), and flight control systems surfaces (elevators, ailerons, rudders, thrust vector, flaps, etc.). As an aircraft, various types can be applied and investigated: from an airship to a quadcopter, from a concept to an interplanetary spacecraft. Simulation is carried out in real time, with the use of desktop computers. The complexity of the control system and computing power have an impact on the frequency of information exchange, which makes it possible to study the influence of the complexity of algorithms on the stability of control loops. The integration of software products is useful in the research and development of aircraft control systems, as well as in the training of students in the aerospace industry.

Численное и аналитическое исследование движения тела по горизонтальной шероховатой плоскости посредством перемещения двух внутренних масс

Чекина Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Исследуется поступательное движение тела, несущего две подвижные массы. Предполагается, что тело перемещается по горизонтальной шероховатой плоскости, а внутренние массы совершают гармонические колебания в горизонтальном и вертикальном направлениях. Частоты гармонических колебаний равны, а амплитуды и фазы могут быть произвольными. Параметры системы выбраны таким образом, что движение тела происходит без отрыва от плоскости. Трение между телом и плоскостью определяется законом Кулона. Такую систему можно рассматривать в качестве простейшей модели капсульного робота.

Задача о движении твердого тела по горизонтальной поверхности посредством перемещения внутренних подвижных масс неоднократно рассматривалась в различных постановках [1,2,3,4]. В данной работе проведена классификация возможных режимов движения тела с периодически меняющейся скоростью. Найдено условие на параметры задачи, при которых существуют указанные периодические движения с одним или двумя интервалами покоя ("залипания") тела за период колебания внутренних масс. Также найдены условия движения тела без интервалов залипания. Установлено, что в этом случае движение тела асимптотически выходит на предельный режим движения с периодически меняющейся скоростью.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-11-00116).

Литература:

1. Черноусько Ф.Л. Анализ и оптимизация движения тела, управляемого посредством подвижной внутренней массы // Прикладная математика и механика. 2006. Т. 70. №6. С. 915-946..
2. Болотник Н.Н., Зейдис И.М., Циммерманн К., Яцун С.Ф. Динамика управляемых движений вибрационных систем // Известия РАН. Теория и системы управления. 2006. Т. 70. №5. С. 157-167.

3. Bardin B. S., Panev A. S., On the Motion of a Body with a Moving Internal Mass on a Rough Horizontal Plane // Rus. J. Nonlin. Dyn., 2018. Vol. 14 no.4 pp. 519–542

4. Бардин Б.С., Панёв А.С. О периодических движениях тела с подвижной внутренней массой по горизонтальной поверхности // Труды МАИ. 2015. № 84. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=62995>.

Numerical and analytical research of a body motion along a horizontal rough plane by moving two internal masses

Chekina E.A.

MAI, Moscow, Russia

The translational motion of a rigid body carrying two moving masses is investigated. It is assumed that the body moves along a horizontal rough plane, and the internal masses perform harmonic oscillations in the horizontal and vertical directions. The frequencies of the harmonic oscillations are equal, and the amplitudes and phases can be arbitrary. The parameters of the system are chosen in such a way that the body moves without separation from the plane. Friction between a body and the plane is determined by Coulomb's law. Such a system can be considered as the simplest model of a capsule robot.

The problem of the motion of a rigid body along a horizontal surface by means of the movement of internal moving masses has been repeatedly considered in various formulations [1,2,3,4]. In this work, a classification of possible modes of motion of a body with a periodically varying speed is carried out. A condition is found for the parameters of the problem under which the indicated periodic motions with one or two intervals of rest ("sticking") of the body exist during the period of oscillation of the internal masses. The conditions for body motion without sticking intervals are also found. It was found that in this case the motion of the body asymptotically reaches the limiting mode of motion with periodically varying speed.

The study was carried out at the Moscow Aviation Institute (National Research University) with a grant from the Russian Science Foundation (project No. 19-11-00116).

References:

1. Chernousko F.L. Analysis and optimization of body motion controlled by a moving internal mass // Applied Mathematics and Mechanics. 2006. T. 70. No. 6. pp. 915-946

2. Bolotnik N.N., Zeidis I.M., Zimmermann K., Yatsun S.F. Dynamics of controlled motion of vibration systems // Izvestiya RAN. Theory and control systems. 2006. T. 70. No. 5. S. 157-167.

3. Bardin B. S., Panev A. S., On the Motion of a Body with a Moving Internal Mass on a Rough Horizontal Plane // Rus. J. Nonlin. Dyn., 2018. Vol. 14 no.4 pp. 519-542

4. Bardin B.S., Panev A.S. On periodic motions of a body with a moving internal mass on a horizontal surface. Trudy MAI. 2015. No. 84. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=62995>.

Стохастическая идентификация таблицы «Объект-признак» на основе модифицированного метода Рабинера

¹Шалагин С.В., ²Нурутдинова А.Р.

¹КНИТУ-КАИ, ²КФУ, г. Казань, Россия

В настоящее время актуальна задача идентификации данных, представленных в виде таблиц, строки которых динамически дополняются. Каждая из таблиц включает m столбцов, соответствующих переменным, которые описывают динамически варьируемые параметры объекта из заданной предметной области, и N строк, по количеству замеров указанных параметров. Таблицу размерности N на m назовем таблицей «Объект-признак» (T).

Модифицированный метод Рабинера (ММР) [1, 2] служит для решения задачи вычисления вероятности того, что заданная дискретная цепь Маркова (ДЦМ) длины N генерируется на основе определенной эргодической стохастической матрицы (ЭСМ). ММР применим для решения следующей задачи: на входе имеем заданную ДЦМ и множество из k ЭСМ, а на выходе – вектор длины k , элементы которого характеризуют вероятности того, что заданная ДЦМ генерируется при использовании заданной ЭСМ из множества мощности k . При допущении, что элементы в каждом из столбцов T представляют собой ЦМ, ММР применим для решения задачи стохастической идентификации заданной таблицы при использовании

множества из k ЭСМ. Особенность элементов множества ЭСМ: они принадлежат k различным подклассам. Подклассы ЭСМ отличаются наличием нулевых элементов на заданных позициях ЭСМ [3, 4]: например, различают треугольные матрицы, верхние и нижние, блочные, правые и левые, матрицы с локальными переходами и др. Если в последовательности длины N соседние состояния соответствуют позиции определенной ЭСМ, где расположен нулевой элемент, то вероятность генерирования заданной последовательности на основе данной ЭСМ равна нулю. Данный факт позволяет ММР идентифицировать факт несоответствия последовательности определенной ЭСМ. В остальных случаях считаем, что последовательность соответствует определенной ЭСМ с заданной вероятностью.

Задача стохастической идентификации T . Пусть различные объекты представимы N измерениями m переменных. Для каждого из идентифицируемых объектов определено m подмножеств ЭСМ различных подклассов, соответствующих столбцам T . Справедливо

Утверждение. Объект является идентифицированным на m подмножествах ЭСМ различных подклассов, если для каждого из указанных подмножеств существует хотя бы одна матрица, допускающая последовательность, образуемую N элементами указанного столбца; в противном случае объект является не идентифицированным на m подмножествах ЭСМ различных подклассов.

Предложен алгоритм стохастической идентификации объекта (далее – Алгоритм), включающий три этапа. На первом этапе, при использовании алгоритма на основе ММР (ММР-алгоритма) вычисляем вероятность того, что каждая из m ДЦМ (столбцы T) порождена заданной ЭСМ из подмножества, соответствующего заданной переменной с номером от 1 до m . На втором этапе вычисляется максимальное значение вероятности для каждой переменной m . На третьем этапе проверяется не равенство нулю значений, полученных на этапе 2.

Каждый этап Алгоритма может быть реализован параллельно, на многопроцессорной вычислительной системе. Получены оценки временной и аппаратной сложности Алгоритма. Алгоритм хорошо подходит для стохастической идентификации таблиц T , имеющих небольшое количество столбцов m , соответствующее количеству доступных вычислительных ресурсов. Перспективным направлением дальнейшего исследования является распределенная реализация предложенного Алгоритма.

Литература:

1. Нурутдинова А.Р. Идентификация и классификация автоматных марковских моделей методами многопараметрического анализа/ А.Р.Нурутдинова, С.В.Шалагин: монография. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2019. – 176 с.
2. Nurutdinova A.R. Identification of Markov sequences based on a modified «Forward-backward» algorithm/ A.R.Nurutdinova, S.V.Shalagin// Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2020). Сборник трудов по материалам VI Международной конференции и молодежной школы (г. Самара, 26-29 мая 2020): в 4 т. – Том 4. Науки о данных. – 2020. – С. 28-31.
3. Шалагин С.В. Многопараметрическая классификация автоматных марковских моделей на основе генерируемых ими последовательность состояний/ С.В.Шалагин, А.Р.Нурутдинова // Прикладная дискретная математика. – 2010, № 4 (10). – С. 41 – 54.
4. Шалагин С.В. Методика идентификации автоматных марковских моделей на основе порождаемых ими последовательностей/ С.В.Шалагин, А.Р. Нурутдинова// Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. – 2010, № 1. – С. 87 – 92.

Stochastic identification of the “Object-attribute” table based on the modified Rabiner’s method

¹Shalagin S.V., ²Nurutdinova A.R.

¹KNRTU-KAI, ²KFU, Kazan, Russia

Currently, the problem of data identification is relevant, presented in the form of tables, the rows of which are dynamically supplemented. Each of the tables contains m columns corresponding to

the variables which describe dynamically varying parameters of an object from a given subject area, and N lines, according to the number of measurements of the specified parameters. A table of dimensions N by m on will be called the "Feature-object" table (T).

The modified Rabiner method (MMP) [1,2] is used to solve the problem of calculating the probability that a given discrete Markov chain (DMC) of length N is generated on the basis of a certain ergodic stochastic matrix (ESM). MMR is applicable to solve the following problem: at the input we have a given ECM and a set of k ECMs, and at the output - a vector of length k , whose elements characterize the probabilities that a given ECM is generated using a given ECM from a set of cardinality k .

Under the assumption that the elements in each of the columns of T will provide a CM, MMR applicable to solving the problem of stochastic identification of a given table using a number from k EFM. The peculiarity of the elements of the set of ESM: they belong to different subclasses. These subclasses are distinguished by the presence of zero elements on given positions of the ECM [3]: for example, there are triangular matrices, top and bottom, block, right and left, matrices with local transitions, etc.

If in a sequence of length N adjacent states correspond to the position of a certain ECM, where the zero element is located, then the probability of generating a given sequence based on this ECM is zero. This fact allows the MMR to identify the inconsistency of the sequence of a certain ECM. In other cases we assume that the sequence corresponds to a certain EFM with a given probability. Stochastic identification problem T . Let different objects representable by N dimensions of m variables. For each of identified objects, m subsets of the EFM of various subclasses corresponding to columns T . Fair

Statement. The object is identified at m subsets of the EFM of various subclasses, if for each of the indicated subsets there is at least one matrix admitting a sequence that is formed by N elements of the specified column; at otherwise the object is unidentified at m subsets of the EFM of various subclasses.

1. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41329647>
2. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43576227>
3. <https://elibrary.ru/item.asp?id=15583261>

Суперкомпьютерное моделирование акустического поля космодрома с использованием открытого программного обеспечения

Шацкий М.В., Епихин А.С., Крапошин М.В.
ИСП РАН, г. Москва, Россия

В данной работе рассматривается процедура совместного использования двух платформ моделирования физических процессов, OpenFOAM и AMReX, которые являются свободным программным обеспечением (СПО).

Интеграция проводилась в рамках задачи исследования акустического поля при старте ракеты. Источники шума появляются в области над газоходом, куда вырывается расширяющаяся и замедляющаяся струя горячих выхлопов ракетного двигателя. Исследование акустического поля требует смоделировать всю интенсивно шумящую область распространения выхлопов над газоходом, а значит исследуемый промежуток времени включает в себя запуск двигателя, движение выхлопов по газоходу, а затем их распространение в области над газоходом.

Моделирование всей области расчета на исследуемом промежутке времени с использованием программы, учитывающей все значимые физические процессы, требует большого количества вычислительных ресурсов или занимает очень много времени. Чтобы упростить задачу, расчетная область была поделена в пространстве и во времени на три части: внутренняя часть газохода, область распространения струй вне газохода и область распространения излучаемого ими звука над газоходом.

Течение газовых струй из двигателей ракеты в замкнутой области эффективнее моделировать с использованием платформы OpenFOAM, предназначенной для проведения расчетов в доменах с границами сложной формы. А распространение звуковых волн в

свободной области выгоднее моделировать с использованием упрощенной математической модели и платформы AMReX, предназначенной для решения уравнений на кубической сетке с возможностью автоматической адаптации, что сильно ускоряет моделирование физического процесса.

При помощи OpenFOAM моделирование движения газа в области внутри газохода на всем исследуемом промежутке времени является затратной задачей. Предварительное исследование задачи показало, что спустя небольшое время после старта двигателей ракеты на границе расчетных областей установится колебание газодинамических параметров около неких средних значений. Исходя из этого, были смоделированы лишь первые несколько периодов самых низкочастотных установившихся колебаний, а затем полученный результат был экстраполирован во времени с помощью методов анализа данных: POD и преобразование Фурье.

Предложенная методика апробируется на модельном случае исследования акустического поля при старте ракеты VEGA (Европейское космическое агентство) на стартовой площадке, аналогичной ZLV (Гвианский космический центр, Франция).

Литература:

1. Schlinker, Robert H. and Reba, Ramons A. and Simonich, John C. and Colonius, Tim and Gudmundsson, Kristjan and Ladeinde, Foluso (2010), Towards Prediction and Control of Large Scale Turbulent Structure Supersonic Jet Noise. In: Proceedings of the ASME Turbo Expo 2009. Vol.1. American Society of Mechanical Engineers , New York, NY, pp. 217-230. ISBN 978-0-7918-4882-1

2. Газодинамика стартовых комплексов / Г. П. Бирюков, А. Б. Бут, В. А. Хотулев, А. С. Фадеев. М. : Рестарт, 2012. 364 с

3. М.В. Крапошин, Многомасштабный подход к моделированию сложных переходных процессов движения жидкостей в технических системах. Труды Института системного программирования РАН, том 30, вып. 6, 2018, стр. 275-292. DOI: 10.15514/ISPRAS-2018-30(6)-15

4. Калугин М.Д., Корчагова В.Н., Крапошин М.В., Марчевский И.К., Морева В.С., Использование инструментов анализа больших данных при решении задач газовой динамики и акустики. Вестник МГТУ им. Баумана, вып 78, 2018, DOI: 10.18698/1812-3368-2018-3-32-47

5. Компания Arianespace: [сайт]. URL: <https://www.arianespace.com/>

HPC modelling of spaceport acoustic field using open source software

Shatskiy M.V., Epikhin A.S., Kraposhin M.V.

ISP RAS, Moscow, Russia

This paper discusses the procedure for joint use of two physical processes modeling platforms, OpenFOAM and AMReX, which are open source software.

The integration was carried out within the framework of the problem of studying the acoustic field of the launch vehicle lift-off. Noise sources appear in the area above the gas duct, where an expanding and decelerating jet of hot exhaust from the rocket engine breaks out. The acoustic field study requires modeling the entire noisy area of the exhaust propagation over the gas duct, which means that the investigated time interval includes engine starting, the exhaust jets movement along the gas duct, and then their distribution in the area above the gas duct.

Modeling the entire computational domain over the investigated time interval using a program, that considers all the significant physical processes, requires a large amount of computing resources or takes a very long time. To simplify the problem, the computational domain was divided in space and in time into three parts: the inner part of the gas duct, the area of propagation of jets outside the gas duct and the area of emitted sound propagation above the gas duct.

It is more efficient to simulate the gas jets flow from rocket engines in a closed area using the OpenFOAM platform, which is designed to perform calculations in domains with complex boundaries. And the sound waves propagation in a free region is more profitable to simulate using a simplified mathematical model and the AMReX platform, designed to solve equations on a cubic

grid with the automatic adaptation possibility, which greatly speeds up the physical process simulation.

The modeling of the gas movement in the area inside the gas duct over the entire investigated time interval using OpenFOAM is a costly task. A preliminary study of the problem showed that the fluctuation of the gas-dynamic parameters around some average values will be established on the boundary of the computational domains a short time after the rocket engines start. According to this, only the first few periods of the lowest-frequency steady-state oscillations were modeled, and then the result was extrapolated in time using the data analysis methods: POD and Fourier transform.

The proposed technique is tested on a case of VEGA launch vehicle lift-off (European Space Agency) at a launch pad similar to ZLV (Guiana Space Center, France).

References:

1. Schlinker, Robert H. and Reba, Ramons A. and Simonich, John C. and Colonius, Tim and Gudmundsson, Kristjan and Ladeinde, Foluso (2010), Towards Prediction and Control of Large Scale Turbulent Structure Supersonic Jet Noise. In: Proceedings of the ASME Turbo Expo 2009. Vol.1. American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, pp. 217-230. ISBN 978-0-7918-4882-1

2. G.P. Birukov et al., Gas dynamics of launch complexes (In Russ.): Restart, 2012. p364

3. Kraposhin M.V. Multiscale approach for simulation of complex transient processes of fluid flows in technical systems. Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS (Proceedings of ISP RAS). 2018;30(6):275-292. (In Russ.) DOI: 10.15514/ISPRAS-2018-30(6)-15

4. Калугин М.Д., Корчагова В.Н., Крапошин М.В., Марчевский И.К., Морева В.С., М. Kalugin, V. Korchagova, M. Kraposhin, I. Marchevskiy, V. Moreva, Using Big Analytics Tools in Performance of Gas Dynamics and Acoustics Tasks (in Russ.). Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Natural Sciences, 78, 2018, DOI: 10.18698/1812-3368-2018-3-32-47

5. Arianespace Company, URL: <https://www.arianespace.com/>

Вычисление концентраций напряжений и эффективных упругих модулей в дисперсном композите

Пешенин С.В., Артамонова Н.Б., Клементьев П.Д., Киселев Ф.Б.
МГУ, г. Москва, Россия

Работа посвящена использованию асимптотического метода осреднения [1] для определения эффективных упругих модулей и концентрации напряжений в композите В4С/2024Al на основе 2D и 3D изображений реальной структуры, полученных соответственно с помощью растрового электронного микроскопа и рентгеновской томографии, и на моделях с эллипсоидальными включениями.

Как показали расчеты по методу осреднения, для диапазона концентраций В4С от 0,14 до 0,20 зависимости эффективных упругих модулей от содержания карбида бора аппроксимируются прямыми линиями для 2D и 3D структур. Для 3D реальной и модельной (с эллипсами) структур различия в значениях модулей Юнга для одинаковых концентраций В4С отличаются не более чем на 1%. А значения модуля упругости для 2D реальных структур на 6-8% меньше, чем для 3D расчетов при одинаковых концентрациях В4С [2].

Для исследования концентрации напряжений вблизи включений карбида бора различной формы использовались трехмерные модели реальной микроструктуры композита В4С/2024Al и модели с включениями в виде эллипсов со случайной ориентацией. Максимальные концентрации наблюдаются в моделях реальной структуры при расчетах на мелкой сетке во включениях карбида бора. Это объясняется тем, что большие концентрации напряжений возникают вблизи углов жестких включений, а использование мелкой сетки позволяет лучше аппроксимировать острые углы. Во включениях карбида бора максимальные концентрации напряжений по Мизесу для реальной структуры достигают 29,19 при расчетах на мелкой сетке и 14,16 при расчетах на крупной сетке, а для модельной структуры с эллипсами – 5,65 и 6,21 соответственно. В менее жесткой алюминиевой матрице

максимальные концентрации напряжений по Мизесу значительно ниже (для реальной структуры на мелкой сетке – 6,19, на крупной – 6,35; для модельной с эллипсами на мелкой сетке – 2,77, на крупной – 3,50). Можно сделать вывод, что при исследовании концентраций напряжений важно учитывать реальную структуру дисперсных композитов. Было также замечено, что величины концентраций напряжений не зависят от концентрации включений карбида бора.

Полученные результаты исследования напряженного состояния образцов на микроуровне имеют важное практическое значение, так как позволяют определить зоны нарушения структуры и образования микротрещин.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-51-53006.

Литература:

1. Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Осреднение процессов в периодических средах. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 352 с.

2. Sheshenin S.V., Zhang Qiang, Artamonova N.B., Kiselev F.B., Volkov M.A. The effective properties of dispersed composites B4C/2024Al // AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2216. No.1. P.040017-1–040017-7.

Calculation of the Stress Concentrations and Effective Elastic Moduli in a Dispersed Composite

Sheshenin S.V., Artamonova N.B., Klementyev P.D., Kiselev F.B.
MSU, Moscow, Russia

In this work, the asymptotic homogenization method [1] is used to determine the effective elastic moduli and stress concentration in the B4C/2024Al composite based on 2D and 3D images of the real structure obtained, respectively, using a scanning electron microscope and X-ray tomography, and on models with ellipsoidal inclusions.

Calculations by the averaging method showed that for the range of B4C concentrations from 0.14 to 0.20, the dependences of the effective elastic moduli on the boron carbide content are approximated by straight lines for 2D and 3D structures. For three-dimensional real and model (with ellipses) structures, the differences in Young's modulus values for the same B4C concentrations differ by no more than 1%. And the values of the elastic modulus for 2D real structures are 6-8% less than for 3D calculations at the same B4C concentrations [2].

To study the stress concentration near boron carbide inclusions of various shapes, three-dimensional models of the real microstructure of the B4C/2024Al composite and models with inclusions in the form of ellipses with a random orientation were used. The maximum concentrations are observed in real-structure models when calculating on a fine grid in boron carbide inclusions. This is due to the fact that high stress concentrations arise near the corners of rigid inclusions, and the use of a fine mesh makes it possible to better approximate acute angles. In boron carbide inclusions, the maximum von Mises stress concentrations for a real structure reach 29.19 when calculating on a fine mesh and 14.16 when calculating on a coarse mesh, and for a model structure with ellipses they are 5.65 and 6.21, respectively. In a less rigid aluminum matrix, the maximum von Mises stress concentrations are significantly lower (for a real structure on a fine mesh – 6.19, on a coarse mesh – 6.35; for a model with ellipses on a fine mesh – 2.77, on a coarse mesh – 3.50). It can be concluded that when studying stress concentrations, it is important to take into account the real structure of dispersed composites. It was also noted that the stress concentration values do not depend on the concentration of boron carbide inclusions.

The results obtained from the study of the stress-strain state of the samples at the microlevel are of great practical importance, since they allow one to determine the zones of structural damage and the formation of microcracks.

The work was supported by the RFBR grant 19-51-53006.

References:

1. Bakhvalov N.S., Panasenko G.P. Homogenization: Averaging Processes in Periodic Media. Kluwer Academic Publishers, 1989.

2. Sheshenin S.V., Zhang Qiang, Artamonova N.B., Kiselev F.B., Volkov M.A. The effective properties of dispersed composites B4C/2024Al // AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2216. No.1. P.040017-1–040017-7.

Автоматическая группировка объектов на основе модели k-средних с расстоянием Махаланобиса с усредненной оценкой ковариационной матрицы по обучающей выборке

Шкаберина Г.Ш., Товбис Е.М.

СибГУ им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

Работа посвящена исследованию и разработке новых алгоритмов автоматической группировки объектов, которые позволяют повысить точность и стабильность результата решения практических задач, например, таких как задача выделения однородных партий промышленной продукции. Существуют отрасли с повышенными требованиями к качеству продукции, где решение задач автоматической группировки требует получения максимально точного и стабильного результата. В работе исследуется применение алгоритма k-средних [1] с мерами расстояния: евклидовым, манхэттенским, Махаланобиса [2] для задачи автоматической группировки объектов с большим количеством параметров.

Представлена новая модель для решения задач автоматической группировки промышленной продукции на основе модели k-средних с мерой расстояния Махаланобиса. Данная модель использует процедуру обучения путем вычисления усредненной оценки ковариационной матрицы для обучающей выборки (выборка с предварительно размеченными данными). На основе предложенной модели разработан новый алгоритм автоматической группировки объектов. Эффективность алгоритма проверена в трех сериях экспериментов на данных тестовых испытаний нескольких партий микросхем, предназначенных для установки на борт космического аппарата. Общее количество изделий в партиях составило 3987 штук, информация об изделиях описывается 205 параметрами.

Принимая во внимание более высокое среднее значение индекса Рэнда [3], показано преимущество модели и алгоритма оптимизации на основе модели k-средних с расстоянием Махаланобиса с усредненной оценкой ковариационной матрицы перед моделями с традиционно используемыми евклидовой и прямоугольной (манхэттенской) метриками.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FEFE-2020-0013.

Литература:

1. MacQueen J. 1967: Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proc. Fifth Berkeley Symp. Math. Stat. Probab. Vol. 1 pp. 281–97
2. De Maesschalck R, Jouan-Rimbaud D, Massart D L 2000: The Mahalanobis distance. Chem Intell Lab Syst 50(1), pp 1–18. doi: 10.1016/S0169-7439(99)00047-7
3. Rand W. M. 1971: Objective criteria for the evaluation of clustering methods. Journal of the American Statistical Association. 66 (336). pp 846–50

Automatic grouping of objects based on the k-means model with a Mahalanobis distance with the average covariance matrix estimate by the training sample

Shkaberina G.S., Tovbis E.M.

Reshetnev University, Krasnoyarsk, Russia

The work is devoted to the study and development of new algorithms for automatic grouping of objects, which can improve the accuracy and stability of the result of solving practical problems, such as, for example problems of allocating homogeneous batches of industrial products. There are industries with increased requirements for product quality, where solving the problems of automatic grouping requires obtaining the most accurate and stable result. The paper investigates the application of the k-means algorithm [1] with distance measures: Euclidean, manhattan, Mahalanobis for the problem of automatic grouping of objects with a large number of parameters.

A new model is presented for solving problems of automatic grouping of industrial products based on the k-means model with the Mahalanobis distance measure. This model uses a training procedure by calculating the average estimate of the covariance matrix for the training sample

(sample with pre-labeled data). On the basis of the proposed model, a new algorithm for automatic grouping of objects has been developed. The efficiency of the algorithm was tested in three series of experiments on the test data of several batches of microcircuits intended for installation in spacecraft equipment. The total number of items in mixed lot was 3987 pieces, information about the items is described by 205 parameters.

Given the higher average Rand's index, the proposed model and optimization algorithm applied to automatically group in homogeneous production batches has an advantage over models with traditionally used Euclidean and rectangular (manhattan) metrics.

Acknowledgement. Results were obtained in the framework of the state task № FEFE-2020-0013 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

References:

1. MacQueen J. 1967: Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proc. Fifth Berkeley Symp. Math. Stat. Probab. Vol. 1 pp. 281–97
2. De Maesschalck R, Jouan-Rimbaud D, Massart D L 2000: The Mahalanobis distance. Chem Intell Lab Syst 50(1). pp 1–18. doi: 10.1016/S0169-7439(99)00047-7
3. Rand W. M. 1971: Objective criteria for the evaluation of clustering methods. Journal of the American Statistical Association. 66 (336). pp 846–50

Математическое моделирование влияния вязкости на течение в сверхзвуковых соплах при низких числах Рейнольдса в приближении ламинарного пограничного слоя Шустов С.А.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Рассматривается актуальность задачи, её физико-математическая постановка, методика численного решения и результаты апробации.

Актуальность рассматриваемой задачи обусловлена использованием сверхзвуковых соплах при низких числах Рейнольдса в гиперзвуковых малопумных аэродинамических трубах, ракетных двигателях малой тяги для управления космическими аппаратами, газодинамических и химических лазерах, а также в источниках молекулярных пучков большой плотности.

Физическая постановка задачи обусловлена следующими допущениями: двумерный характер течения (плоский либо осесимметричный), стационарность, отсутствие конденсированной фазы.

Математическая постановка задачи включает:

- уравнения неразрывности, сохранения импульса, энергии для сжимаемого двухмерного течения в пограничный слой с продольным отрицательным градиентом давления и граничными условиями скольжения скорости и скачка температуры на стенке;
- уравнения для течения в вязком ядре: в одномерном приближении для дозвуковой части сопла и в двухмерном приближении для сопел с профилированной сверхзвуковой частью сопла (уравнения Эйлера).

Методика численного решения уравнений пограничного слоя основана на переходе от исходных уравнений пограничного слоя к уравнениям плоского несжимаемого течения в пограничном слое на основе использования преобразований Степанова-Манглера и Дородницына-Стюартсона. Для решения преобразованной системы уравнений используется интегральный метод. Для определения профилей скорости в заданном сечении сопла используется метод локальной автомодельности, основанный на численном решении уравнения Фокнера и Скана в диапазоне значений параметра градиентности от нуля до бесконечности (в отличие от Хартри, получившего численные решения этого уравнения в диапазоне от нуля до 2.4).

Применительно к жидкостным ракетным двигателям малой тяги (ЖРДМТ) модель определения термогазодинамических параметров течения в вязком ядре с учетом двумерного характера и химической неравновесности изложена в [1,2].

Апробация численной реализации математической модели показала её работоспособность вплоть до нижней границы по числу Рейнольдса, имеющему величину порядка 200 и для

геометрических степеней расширения сопла вплоть до 1000 (число Рейнольдса определяется по параметрам в минимальном сечении сопла).

Литература:

1. Безменова Н.В., Гидаспов В.Ю., Иванов И.Э., Шустов С.А. Моделирование течения продуктов сгорания в соплах ЖРДМТ. // Математическое моделирование, РАН, том 11, № 6, 1999., с.45-51.

2. Безменова Н.В., Иванов И.Э., Кулябин К.П., Пирумов У.Г. Шустов С.А. Моделирование газодинамических и теплообменных процессов в ЖРДМТ. // Математическое моделирование, РАН, том 13, № 6, 2001, с.45-51.

Mathematical modeling of the influence of viscosity on the flow in supersonic nozzles at low Reynolds numbers in the approximation of a laminar boundary layer

Shustov S.A.

Samara University, Samara, Russia

The relevance of the problem under consideration is due to the use of supersonic nozzles at low Reynolds numbers in hypersonic low-noise wind tunnels, low-thrust rocket engines for controlling spacecraft, gas-dynamic and chemical lasers, as well as in sources of high-density molecular beams.

The physical formulation of the problem is due to the following assumptions: the two-dimensional nature of the flow (planar or axisymmetric), stationarity, and the absence of a condensed phase.

The mathematical formulation of the problem includes:

- Equations of continuity, conservation of momentum, energy for a compressible two-dimensional flow in a boundary layer with a longitudinal negative pressure gradient and boundary conditions of velocity slip and temperature jump on the wall.

- Equations for a flow in an inviscid core: in the one-dimensional approximation for the subsonic part of the nozzle and in the two-dimensional approximation for nozzles with a profiled supersonic part of the nozzle (Euler equations).

The technique for numerically solving the boundary layer equations is based on the transition from the initial equations of the boundary layer to the equations of a plane incompressible flow in the boundary layer based on the use of the Stepanov-Mangler and Dorodnitsin-Stewartson transformations. An integral method is used to solve the transformed system of equations. To determine the velocity profiles in a given section of the nozzle, the method of local self-similarity is used, based on the numerical solution of the Fokner and Scan equations in the range of values of the gradient parameter from zero to infinity (in contrast to Hartree, who obtained numerical solutions of this equation in the range from zero to 2.4).

Approbation of the numerical implementation of the mathematical model has shown its efficiency up to Reynolds numbers of about 200 (the Reynolds number is determined by the parameters in the minimum nozzle section) and geometric expansion ratios of the nozzle of at least 1000.

Исследование динамики управляемой стержневой конструкции активного экзоскелета человека

Ястремский А.В.

НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия

Актуальность исследования обусловлена бурным развитием робототехники, экзоскелетов и антропоморфных роботов, применяемых в различных сферах деятельности человека, в производственных, бытовых и медицинских приложениях [1,2]. Объектом исследования является экзоскелет человека в виде новой конструктивной схемы электромеханической системы, предназначенной для управления движением корпуса человека.

Поставлена задача разработки новой математической модели движения системы, обеспечивающей стабилизацию вертикального неустойчивого положения равновесия человека с нарушением опорно-двигательного аппарата. Ближайшим аналогом является разработка компании Össur протеза конечностей с гидравлическим коленным механизмом с

системой контроля фаз опоры и переноса колена, который обеспечивает естественную походку для пациентов с различными нарушениями в опорно-двигательном аппарате.

В докладе обсуждается методика построения дифференциальных уравнений Лагранжа для трехзвенного механизма экзоскелета с учетом динамики электродвижения. Найдено программное управление электродвигателями, обеспечивающее заданное положение человека. Построенная линеаризованная математическая модель описывает малые колебания системы в окрестности вертикального неустойчивого положения в условиях интенсивных случайных помех на входе и в измерениях датчиков инерциальной и внешней информации – датчиков вестибулярной системы. Для стабилизации системы применены методы оптимального по энергозатратам управления в виде обратной связи по оптимальной по Калману оценке вектора состояния системы [3]. Проведенное математическое моделирование показывает асимптотическую устойчивость замкнутой системы в условиях интенсивных случайных помех на входе и выходе системы. Разработанное алгоритмическое и программное обеспечение может быть внедрено в систему управления активного экзоскелета.

Литература:

1. Мартыненко Ю.Г., Формальский А.М. Управляемый маятник на подвижном основании. // Механика твердого тела №1 2013. – 9-23 с.
2. Яцун С.Ф., Савин С.И., Емельянова О.В., Яцун А.С., Турлапов Р.Н. Экзоскелеты: анализ конструкций, принципы создания, основы моделирования: монография/ Курск: Университетская книга, 2015. – 179 с.
3. Астахов С.В., Лабуха Л.Р., Меркурьев И.В., Панкратьева Г.В. Статистическая динамика автоматических систем // Учебное пособие МЭИ, 2018 – 49с.

Research of the dynamics of a controlled rod structure of an active human exoskeleton

Yastremskiy A.V.

NRU “MPEF”, Moscow, Russia

The relevance of the research is due to the rapid development of robotics, exoskeletons and anthropomorphic robots used in various fields of human activity, in various industrial, household and medical applications. The object of research is a new design scheme of the electromechanical system that controls the body and movable rod and cable elements of the exoskeleton.

To develop an active human exoskeleton, the task is to develop a new mathematical model of the movement of the system that provides stabilization of the vertical unstable position of the balance of a person with a violation of the musculoskeletal system. The closest analogue is the development by Ossur of a prosthetic limb with a hydraulic knee mechanism with a system for controlling the phases of support and transfer of the knee, which provides a natural gait for patients with various disorders in the musculoskeletal system.

The paper discusses a method for constructing Lagrange differential equations for the three-link exoskeleton mechanism, considering the dynamics of the electric drive. Software control of electric motors that provides a given position of a person is found. The constructed linearized mathematical model describes small oscillations of the system in the vicinity of a vertical unstable position. To stabilize the system, control methods are applied in the form of feedback on the system state assessment. Mathematical modeling shows the asymptotic stability of a closed system under conditions of random interference in the measurements of micromechanical accelerometers-sensors of the vestibular system.

References:

1. Martynenko Y.G., Formal'skij A.M. Controlled pendulum on a movable base. // Solid state mechanics No. 1 2013. - 9-23 p.
2. Yacun S.F., Savin S.I., Emel'yanova O.V., YAcun A.S., Turlapov R.N. Exoskeletons: analysis of structures, principles of creation, basics of modeling: Monograph / Kursk: University book, 2015. – 179 c.

3. Astahov S.V., Labuha L.R., Merkur'ev I.V., Pankrat'eva G.V. Statistical dynamics of automatic systems // MEI study guide, 2018 – 49c.

8. Новые материалы и производственные технологии в области авиационной и ракетно-космической техники

8. New Materials and Production Technology in the Field of Aviation, Rocket and Space Technology

Реологические свойства керамических суспензий в литье по выплавляемым моделям

Аглиуллина А.А., Варфоломеев М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Технология литья по выплавляемым моделям является одним из старейших методов, используемых в различных отраслях промышленности, прежде всего в машиностроении и авиационном двигателестроении.

В методе литья по выплавляемым моделям литейной формой является многослойная неразъемная керамическая оболочка. Качество оболочки зависит от суспензии и материалов литейных форм (связующего и огнеупорного материала), а также от процесса их изготовления. Выбор связующего и огнеупорного материала для основы суспензии играет важную роль в точном литье по выплавляемым моделям.

В качестве связующего материала в литейных цехах широко применяется гидролизированный раствор этилсиликата. Замена на экологически безопасное связующее позволяет улучшить экологическую обстановку в литейных цехах и снизить себестоимость литья.

Формовочные огнеупорные материалы со связующим в виде коллоидного кремнезема обладают несколькими различными свойствами, чем те, что применялись до сегодняшнего дня. Особенно это касается реологических характеристик, включая динамическую и кинематическую вязкость, склонность к седиментации, медленное высыхание слоя суспензии, смачиваемость восковых модельных блоков.

Смачиваемость поверхности восковых моделей керамической суспензией сильно зависит от ее состава, степени наполнения, типа используемого связующего и наличие в его составе поверхностно-активных веществ.

Сравнительный анализ краевых углов смачивания поверхностей восковых моделей ПС 50-50, Салот и МВС-3А суспензиями на основе маршалита и связующих растворов ЭТС-40 и Армосил АМ показал, что они практически не отличаются и составляют в среднем 30-40 град.

Благодаря хорошим показателям краевых углов смачивания, связующее Армосил АМ можно рассматривать в качестве замены этилсиликатного связующего в литейных цехах по выплавляемым моделям.

Rheological properties of ceramic slurries in investment casting

Agliullina A.A., Varfolomeev M.S.

MAI, Moscow, Russia

The technology of investment casting is one of the oldest methods used in various industries, primarily in mechanical engineering and aircraft engine building.

In the method of investment casting, the casting mold is a multi-layer all-in-one ceramic shell. The quality of the shell depends on the suspension and materials of the molds (binder and refractory material), as well as on the manufacturing process. The choice of binder and refractory material for the slurry base plays an important role in precision casting.

Hydrolyzed ethyl silicate solution is widely used as a binder in foundries. Replacing it with an environmentally friendly binder allows you to improve the environmental situation in foundries and reduce the cost of casting.

Molding refractories with a binder in the form of colloidal silica have several different properties than those used until today. This is especially true for rheological characteristics, including dynamic and kinematic viscosity, tendency to sedimentation, slow drying of the suspension layer, and wettability of wax model blocks.

The wettability of the surface of wax models with ceramic suspension strongly depends on its composition, the degree of filling, the type of binder used, and the presence of surfactants in its composition.

A comparative analysis of the edge angles of wetting the surfaces of wax models PS 50-50, Salyut and MVS-3A with suspensions based on marshalite and binding solutions ETS-40 and Armosil AM showed that they practically do not differ and average 30-40 degrees.

Due to the good performance of the edge wetting angles, Armosil AM binder can be considered as a replacement for ethyl silicate binder in foundries for smelted models.

Керметные материалы, упрочнённые наночастицами алюмо-магниево-шпинели, для жидкосолевых энергоустановок

Агуреев Л.Е., Иванов Б.С., Лаптев И.Н., Иванов А.В., Ашмарин А.А.
Центр Келдыша, г. Москва, Россия

Никель и никельсодержащие сплавы широко применяются в промышленности благодаря своим выдающимся характеристикам, таким как высокие механические свойства, устойчивость к химикатам и термической обработке.

Использование наночастиц тугоплавких соединений в малых концентрациях для упрочнения металлических и керметных композитов – один из путей существенного улучшения функциональных свойств новых материалов. Наночастицы упрочнителей, находясь на границе зерна матрицы, способствуют лучшей спекаемости за счёт формирования развитого межфазного слоя, появления дополнительных поверхностей контакта. Применение наночастиц в малых количествах (не более 0,1%) способствует их лучшему распределению в матрице с минимальным количеством агрегатов, что снижает уровень дефектности материала. Согласно теории Образцова-Лурье-Белова, вокруг наночастицы формируется, т.н. межфазный слой, обладающий отличными от матрицы свойствами.

Целью настоящей работы является разработка технологии получения керметов для перспективных жидкосолевых энергетических установок. В качестве матрицы использовали порошок сплава NiAl (ПН70Ю30), в добавках применяли порошок Al₂O₃, порошок Y₂O₃ и наночастицы MgAl₂O₄. Смешение проводили в планетарной мельнице. Спекание цилиндрических образцов с диаметром 30 мм и высотой 2 мм проводили искровым плазменным методом на установке FCT при температуре 900°C в течение 18 мин. Ввод наночастиц осуществляли в матрицу при воздействии ультразвука в изопропиловом спирте.

В результате рентгенофазового анализа установлено, что материал системы NiAl-Al₂O₃ при 20°C и 800°C имеет в составе фазы NiAl, Al₂O₃ и Ni₂Al₃. Композит состава NiAl-Al₂O₃-Y₂O₃ при 20°C и 800°C сохраняет трёхфазный состав NiAl, Al₂O₃ и Y₂O₃. Оба материала стабильны до 800°C. Добавка наночастиц алюмо-магниево-шпинели и микрочастиц оксида иттрия позволила повысить прочностные свойства кермета.

Ввод наночастиц алюмомагниево-шпинели и микрочастиц оксида иттрия в кермет позволил повысить его прочностные свойства, как при комнатной, так и при повышенной температуре.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-03-00350 А «Разработка методов повышения прочностных и функциональных свойств керметных материалов на основе никеля».

Cermet materials reinforced with a small addition of spinel nanoparticles for molten salt power plants

Agureev L.E., Ibanov B.S., Laptev I.N., Ivanov A.V., Ashmarin A.A.

Keldysh Research Center, Moscow, Russia

Nickel and nickel-containing alloys are widely used in industry due to their outstanding characteristics such as high mechanical properties, resistance to chemicals and heat treatment.

The use of nanoparticles of refractory compounds in small sizes for hardening metal and cermet composites is one of the ways to improve the functional materials of new materials. Nanoparticles of hardeners located at the boundaries of the matrix contribute to better sintering due to the formation of the formed interphase layer, additional contact surfaces appear. The use of nanoparticles in small amounts (no more than 0.1%) promotes their better distribution in the matrix with a minimum aggregate, which reduces the level of material defectiveness. According to the Obraztsov-Lurie-Belov theory, around the nanoparticle is formed, the so-called, an interfacial layer with properties different from the matrix.

The purpose of this work is to develop a technology for producing cermets for promising molten salt power plants. NiAl powder (PN70Yu30) was used as a matrix; Al₂O₃ powder, Y₂O₃ powder, and MgAl₂O₄ nanoparticles were used in additives. Mixing in a planetary mill. Sintering of cylindrical samples 30 mm in size and 2 mm in height by the spark plasma method on an FCT installation at a temperature of 900°C for 18 min. The nanoparticle was introduced into the matrix by exposure to ultrasound in isopropyl alcohol.

As a result of X-ray phase analysis, it was found that the material of the NiAl-Al₂O₃ system at 20°C and 800°C contains the phases NiAl, Al₂O₃ and Ni₂Al₃. Composite composition NiAl-Al₂O₃-Y₂O₃ at 20°C and 800°C geographically three-phase composition of NiAl, Al₂O₃ and Y₂O₃. Both materials are stable up to 800°C. The addition of nanoparticles, aluminum-magnesium spinel and microparticles of yttrium oxide made it possible to increase the strength properties of the cermet.

This work was supported by the RFBR grant No. 19-03-00350 A "Development of methods for improving the strength properties and functional properties of cermet materials based on nickel".

Возможности проектирования углепластиковых авиационных конструкций с учетом применения эпоксидных углепластиков, стойких к удару молнии

Александров А.А., Насонов Ф.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В авиационной промышленности конструкционные углепластики применяются взамен алюминиевых и титановых сплавов, что обеспечивает значительное снижение массы планера летательных аппаратов (ЛА).

Вероятность удара молнии в ЛА достаточно велика, примерно 10^{-2} , т.е. молния может попасть в ЛА один раз за 100 проходов через грозовое облако.

Атмосферное электричество и молнии в частности представляют значительную угрозу для авиации. Попадание молнии в ЛА вызывает растекание тока большой величины по его конструкционным элементам, что может вызвать их разрушение, образование трещин, пожар в топливных баках, отказы электрооборудования, и как следствие авиакатастрофу.

Конструкционные углепластики имеют специфические особенности, влияющие на молниезащищенность самолетных конструкций: конструкционные углепластики являются слабыми проводниками (их сопротивление на 3 – 4 порядка выше, чем у металлов). В связи с этим, незащищенные углепластиковые конструкции при поражении молнией могут получать повреждения, недопустимые по ресурсным и эксплуатационным требованиям.

Для исключения данных повреждений или снижения их вероятности применяют специализированные конструктивные приемы (применение внедренных в структуру композитов шин, перемычек, вязано-паяных проволочных сеток, различных типов фольги) и/или материаловедческие решения (модифицирование полимерных матриц углекомпозитов углеродными наночастицами в целях повышения трансверсальной проводимости).

В применении конструктивных приемов есть существенный недостаток, который заключается в увеличении массы летательного аппарата и низкой коррозионной стойкости. Поэтому рассматривается применение модифицированных углепластиков в нескольких слоях на определенной глубине. Назначается он исходя из моделирования эффективного растекания электрического заряда, а также с учетом обеспечения требования металлизации, как мероприятия, выравнивающего потенциал всей конструкции при наведении зарядов статического электричества.

При этом модифицирование матрицы углепластика выполняется способом поверхностного напыления на полуфабрикаты композиты слоя углеродных нанотрубок, находящиеся на данном этапе в составе подготовленной эмульсии.

Особенностью задачи является обеспечение электрической проводимости в целях беспрепятственного стекания электрического молниевоего заряда, а также статического заряда, скапливающегося на поверхностях летательного аппарата в полете и на стоянке.

Possibilities of designing carbon plastic aircraft structures taking into account the application of epoxy carbons resistant to lightning

Aleksandrov A.A., Nasonov F.A.

MAI, Moscow, Russia

In the aviation industry, structural carbon fiber reinforced plastics are used instead of aluminum and titanium alloys, which provides a significant reduction in the weight of the airframe of aircraft.

The probability of a lightning strike in an aircraft is quite high, approximately 10^{-2} , i.e. lightning can hit an aircraft once every 100 passes through a thundercloud.

Atmospheric electricity and lightning in particular pose a significant threat to aviation. A lightning strike into an aircraft causes a large current spreading over its structural elements, which can cause their destruction, the formation of cracks, a fire in fuel tanks, electrical equipment failures, and, as a consequence, a plane crash.

Structural CFRPs have specific features affecting lightning protection of aircraft structures: structural CFRPs are weak conductors (their resistance is 3-4 orders of magnitude higher than that of metals). In this regard, unprotected carbon-fiber structures, when struck by lightning, can receive damage that is unacceptable in terms of resource and operational requirements.

To eliminate these damages or reduce their probability, specialized design techniques are used (the use of tires, bridges, knitted-brazed wire meshes, various types of foil) and / or materials science solutions (modification of polymer matrices of carbon composites with carbon nanoparticles to increase transverse conductivity).

There is a significant drawback in the use of design methods, which consists in an increase in the mass of the aircraft and a low corrosion resistance.

Therefore, the application of modified CFRPs in several layers at a certain depth is considered. It is assigned based on modeling the effective spreading of an electric charge, as well as taking into account the provision of metallization requirements, as an event that equalizes the potential of the entire structure when static electricity charges are induced.

In this case, the modification of the carbon fiber matrix is carried out by the method of surface spraying on the semifinished composites of the layer of carbon nanotubes, which are at this stage in the composition of the prepared emulsion.

A feature of the problem is to provide electrical conductivity to unimpeded drainage of electric lightning charge, as well as static charge accumulating on the surfaces of the aircraft in flight and at a stop.

Жаростойкое покрытие в системе Si-TiSi₂-MoSi₂-TiB₂-CaSi₂ для жаропрочных неметаллических композиционных материалов

Астапов А.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Работа выполнена в продолжение систематических исследований, проводимых в МАИ в направлении создания жаростойких покрытий [1, 2] для защиты жаропрочных материалов на

основе углерода от высокотемпературного окисления и эрозии в скоростных высокоэнтальпийных потоках газа.

Приведены результаты огневых испытаний образцов из C_f/SiC композита с покрытием системы $Si-TiSi_2-MoSi_2-TiB_2-CaSi_2$ в условиях аэрогазодинамического обтекания и неравновесного нагрева потоками воздушной плазмы с числами Маха $M = 5.5-6.0$ и энтальпией 40-50 МДж/кг. Подтверждена эффективность защитного действия покрытия при температурах на поверхности $T_w = 1810-1820^\circ C$ в течение не менее 920-930 с, при $T_w = 1850-1860^\circ C$ – не менее 510-520 с, при $T_w = 1900-1920^\circ C$ – не менее 280-290 с, при $T_w = 1940-1960^\circ C$ – не менее 100-110 с. Средние значения скорости уноса массы покрытия в указанных интервалах температур T_w составляют, $mg/(cm^2 \cdot h)$: 30.1 ± 3.3 , 83.5 ± 12.8 , 145.3 ± 24.7 , 494.9 ± 71.8 соответственно. Выполнена оценка константы скорости гетерогенной рекомбинации K_w атомов и ионов воздушной плазмы на активных центрах поверхности покрытия. Средние значения K_w в указанных выше интервалах температур T_w составляют, m/s : 4.7 ± 1.3 , 6.5 ± 1.5 , 8.0 ± 2.0 , 9.0 ± 3.0 соответственно. Установлено, что работоспособность покрытия обеспечивается структурно-фазовым состоянием его основного слоя, формированием и эволюцией на его поверхности в процессе эксплуатации пассивирующей гетерогенной оксидной пленки, представленной боросиликатным стеклом с ликвационными неоднородностями по титану и кальцию и армирующими *in situ* волокнами Si_2ON_2 . Экспериментально подтверждено снижение упругости паров в системе «оксидная пленка – покрытие» при увеличении степени гетерогенности наружного слоя.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ по меропрятию «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов (Соглашение № 19-79-10258 от 08.08.2019 г.).

Литература:

1. Астапов А.Н., Терентьева В.С. Анализ практики работ по созданию гиперзвуковых систем и обеспечению их тепловых режимов (обзор) // Тепловые процессы в технике. – М., 2014. – Т. 6, № 1. – С. 2 – 11.
2. Терентьева В.С., Астапов А.Н. Концептуальная модель защиты озоборожоропрочных материалов в гиперзвуковых потоках окислительного газа // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2017. – № 3. – С. 51 – 64.

Heat resistant coating in the $Si-TiSi_2-MoSi_2-TiB_2-CaSi_2$ system for refractory non-metallic composite materials

Astapov A.N.

MAI, Moscow, Russia

The work was performed as a continuation of systematic studies carried out at the Moscow Aviation Institute in the direction of creating heat-resistant coatings [1, 2] to protect carbon based refractory materials from high-temperature oxidation and erosion in high-speed high-enthalpy gas flows.

The results of firing tests of specimens made of a C_f/SiC composite with the coating of the $Si-TiSi_2-MoSi_2-TiB_2-CaSi_2$ system under conditions of non-equilibrium heating by air plasma flow with Mach numbers $M = 5.5-6.0$ and enthalpy 40-50 MJ/kg are presented. The effectiveness of the protective action of the coating was confirmed at temperatures on the surface $T_w = 1810-1820^\circ C$ for at least 920-930 s, at $T_w = 1850-1860^\circ C$ – at least 510-520 s, at $T_w = 1900-1920^\circ C$ – not less than 280-290 s, at $T_w = 1940-1960^\circ C$ – not less than 100-110 s. The average weight loss rate of the coating in the indicated temperature T_w ranges are, $mg/(cm^2 \cdot h)$: 30.1 ± 3.3 , 83.5 ± 12.8 , 145.3 ± 24.7 , 494.9 ± 71.8 , respectively. The rate constant of heterogeneous recombination K_w of air plasma atoms and ions at active centers of the coating surface is estimated. The average values of K_w in the above stated temperature T_w intervals are, m/s : 4.7 ± 1.3 , 6.5 ± 1.5 , 8.0 ± 2.0 , 9.0 ± 3.0 , respectively. It has been established that the performance of the coating is provided by the structural-phase state of its main layer and the formation and evolution on its surface during operation of passivating heterogeneous oxide film which is represented by borosilicate glass with titanium and calcium liquation inhomogeneities and Si_2ON_2 fibers reinforcing *in situ*. A decrease in

the vapor pressure in the «oxide film - coating» system with an increase in the degree of heterogeneity of the outer layer has been experimentally confirmed.

This work was carried out as part of the RSF grant for the event «Research by scientific groups led by young scientists» of the Presidential Program for Research Projects (Agreement No. 19-79-10258 of 08.08.2019).

References:

1. Astapov A.N., Terentieva V.S. Analysis of the practice of creating hypersonic systems and ensuring their thermal regimes (review) // Thermal Processes in Engineering. – 2014. – Vol. 6, No. 1. – P. 2 – 11 (in Russian).

2. Terentieva V.S., Astapov A.N. Conceptual protection model for especially heat-proof materials in hypersonic oxidizing gas flows // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2018. – Vol. 59, No. 6. – P. 709 – 718. DOI: 10.3103/S1067821218060172.

Оценка возможности изготовления элементов конструкции КА методами аддитивных технологий

Ашимов И.Н.

РКК «Энергия», г. Королев, Россия

Одним из важных направлений исследования в области изготовления изделий ракетно-космической техники является применение новых технологий производства. Использование новых технологий позволяет существенно упростить и удешевить процессы производства без потери качества изготавливаемых элементов. На данный момент одним из перспективных методов производства являются аддитивные технологии.

Для оценки возможности изготовления элементов конструкции КА методами аддитивных технологий отобран ряд деталей, соответствующих множеству критериев, основными из которых являются:

- Геометрическая сложность.
- Массовые характеристики.
- Требования к прочностным характеристикам.
- Совместимость материалов под аддитивное производство.
- Условия использования.

Одним из главных критериев является геометрическая сложность детали. В связи с тем, что элементы конструкции изделий РКТ изготавливаются чаще всего в малых объемах (порой в единичных экземплярах), процесс производства таких деталей в основном имеет высокую трудоемкость. Для каждого типа изделия был подобран метод аддитивного производства, проанализированы достоинства и недостатки каждого метода по сравнению с традиционными технологиями производства. В зависимости от выбранного метода проводилась топологическая оптимизация изделия, анализировалась возможность изготовления в условиях космоса.

Дополнительным критерием к методам аддитивного производства элементов конструкции так же являлось обеспечение требований по точности расположения, шероховатости поверхностей.

Результатом исследования является анализ номенклатуры деталей, изготовление которых возможно с применением методов аддитивных технологий. Имеющиеся результаты позволяют изготовить элемент конструкции КА одним из выбранных методов, а также исследовать физико-механические свойства полученного изделия, результаты которого будут представлены в дальнейших исследованиях.

Evaluation of the possibility of manufacturing spacecraft structural elements using additive technologies

Ashimov I.N.

RSC "Energia", Korolev, Russia

One of the important areas of research in the field of manufacturing products for rocket and space technology is the use of new production technologies. The use of new technologies makes it possible to significantly simplify and reduce the cost of production processes without losing the

quality of the manufactured elements. At the moment, one of the most promising production methods is additive technologies.

To assess the possibility of manufacturing spacecraft structural elements using additive technologies, a number of parts were selected that correspond to a variety of criteria, the main of which are:

- Geometric complexity.
- Mass characteristics.
- Requirements for strength characteristics.
- Compatibility of materials for additive manufacturing.
- Terms of Use.

One of the main criteria is the geometric complexity of the part. Due to the fact that structural elements of rocket and space technology products are most often manufactured in small volumes (sometimes in single copies), the production process of such parts generally has a high labor intensity. An additive manufacturing method was selected for each type of product, the advantages and disadvantages of each method were analyzed in comparison with traditional production technologies. Depending on the chosen method, topological optimization of the product was carried out, the possibility of manufacturing in space was analyzed.

An additional criterion for the methods of additive production of structural elements was also the provision of requirements for the accuracy of the location, roughness of surfaces.

The result of the research is the analysis of the nomenclature of parts, the manufacture of which is possible using the methods of additive technologies. The available results will make it possible to manufacture a spacecraft structural element using one of the selected methods, as well as to study the physical and mechanical properties of the resulting product, the results of which will be presented in further studies.

Комплексное модифицирование силуминов модификаторами длительного действия

Барбанакова И.А., Барбанакова А.А., Ряховский А.П., Овчарова П.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Сплавы системы алюминий-кремний (силумины) широко используются в промышленности. Это объясняется тем, что их основа, алюминий, обладает малой плотностью, сравнительно невысокой температурой плавления, хорошими физическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью.

Благодаря таким свойствам алюминий и его сплавы находят применение почти во всех отраслях промышленности – авиационной, строительной, химической и т.д.

Все силумины обладают структурными особенностями – грубыми хрупкими включениями кремния и интерметаллическими фазами. Для улучшения структуры и механических свойств силумины модифицируют, т.е. измельчают структуру за счет введения в расплав перед его заливкой малых добавок модифицирующих элементов.

Для модифицирования силуминов применяют натрий, который вводится в сплавы в виде фтористого натрия, он дает эффект измельчения эвтектического кремния в этих сплавах [1,2]. В промышленности часто используются универсальные флюсы- смеси фтористого натрия с фтористыми и хлористыми солями щелочных металлов. В силуминах, основными структурными составляющими являются α -твердый раствор и эвтектика (α +Si). Поэтому для одновременного модифицирования основных структурных составляющих силуминов в состав комплексного модификатора должны входить модифицирующие элементы 1-го и 2-го рода. Модификаторы 1-го рода как поверхностно-активные (калий, барий) вещества должны измельчать и обогащать эвтектику в алюминиевых сплавах, а модификаторы 2-го рода, образующие дополнительные центры кристаллизации (титан, цирконий), должны измельчать зерна α -твердого раствора [3]. Необходимо, чтобы модификаторы оказывали длительное модифицирующее воздействие на структуру силуминов.

Применение комплексных модификаторов для обработки силуминов является перспективным, оно должно существенно повысить механические свойства сплавов, в первую очередь пластичность.

Литература:

1. Мальцев М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1964. 282с.
2. Стрганов Г.В., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. М.: Металлургия, 1977. 272с.
3. Боом Е.А. Природа модифицирования сплавов типа силумин. М.: Металлургия, 1972. 112с.

Complex modification of silumins with long-acting modifiers

Barbanakova I.A., Barbanakova A.A., Ryakhovsky A.P., Ovcharova P.A.

MAI, Moscow, Russia

Alloys of the aluminum-silicon system (silumins) are widely used in industry. This is explained by the fact that their base, aluminum, has a low density, a relatively low melting point, good physical properties and high corrosion resistance.

Due to these properties, aluminum and its alloys are used in almost all industries – aviation, construction, chemical and etc.

All silumins have structural features – coarse brittle silicon inclusions and intermetallic phases. In order to improve the structure and mechanical properties-silumins are modified, i.e. the structure is atomized by introducing small additives of modifying elements into the melt before it is poured it.

Sodium is used to modify silumins, which is injected into alloys in the form of sodium fluoride, giving the effect of grinding eutectic silicon in them [1,2]. Universal fluxes are widely used in industry as a mixture of sodium fluoride with fluoride and chloride salts alkali metal. Silumins', main structural components are α -solid solution and eutectic ($\alpha + \text{Si}$). Therefore, for the simultaneous modification of the silumins' main structural components, modifying elements of the 1st and 2nd types must be included as a compound of complex modifier. The 1st type modifiers as surface-active substances (potassium, barium) should grind and refine the eutectic in aluminum alloys, while the 2nd type modifiers, forming additional crystallization centers (titanium, zirconium), should grind the grains of the α -solid solution [3]. It is essential that modifiers have a long-term modifying effect on the silumins' structure.

Complex modifiers application for silumins processing is an advanced technology; it should significantly increase the mechanical properties of alloys and plasticity, in particular.

References:

1. Maltsev M.V. Modification of the structure of metals and alloys. M.: metallurgy, 1964. 282 p.
2. Stroganov G.V., Rotenberg V.A., Gershman G.B. aluminum alloys with silicon. Moscow: metallurgy, 1977. 272 p.
3. Boom E.A. Nature of the modification of alloys of type of silumin. M.: metallurgy, 1972. 112 S.

Формирование керамической матрицы состава (Si-B-C) композиционных материалов, методом CVI

Бодян А.Г.

МГОТУ, г. Королев, Россия

Керамоматречные композиционные материалы (ККМ) с матрицей на основе карбида кремния (SiC) обладают рядом уникальных свойств: низкая плотность, высокая удельная прочность, хим стойкость, высокий модуль упругости, жаростойкость и жаропрочность. Жаростойкость композиционным материалам с матрицей SiC придает защитный слой оксида кремния (SiO₂) образующийся при окислении матрицы SiC. Образование тонкого вязкого оксидного слоя при окислении матрицы позволяет так же добиться эффекта самозалечивания матричных трещин и пор, в процессе окисления.

Эффект самозалечивания для матрицы SiC проявляется при относительно высоких температурах, выше ~ 1400оС. Однако существует необходимость использования УУКМ при температуре порядка 1000оС на протяжении сотен часов. При испытаниях УККМ с карбидокремниевой матрицей при температурах ниже 1000оС наблюдается ухудшение всех

параметров материала, связанное с окислением углеродных нитей, окислительной средой, проникающей вглубь материала через матричные трещины. Выгорание углеродных армирующих нитей хорошо заметно уже при температуре 400оС. На сегодняшний день стоит актуальная задача по разработке КМ с эффекта самозалечивания от 400оС. Это сделает возможным, использование данных композиционных материалов в авиационных газотурбинных двигателях и других газотурбинных установках.

Одним из способов снижения температуры эффекта самозалечивания матриц на основе SiC, является введение в состав матрицы, атомов бора. Материалы на основе Si-B-C характерны сниженной температурой оксидообразования, по сравнению с чистым SiC. Вышеперечисленные свойства материала на основе Si-B-C позволяют снизить температуру эффекта самозалечивания трещин до значения порядка 450оС.

Для максимального эффекта самозалечивания специалистами из университетов Бордо разработаны многослойные структуры [SiC-B4C]_n. Мы ставим перед собой задачу о подборке научно-технических основ создания аналогичной матрицы с применением разработанного ранее в АО «Композит» процесса осаждения SiC и монометилсилана.

В результате работы были проведены процессы осаждения методом CVI и CVD покрытия B4C. В качестве прекурсоров были использованы газы: BCl3 и CH4. Микроструктура исследована методом сканирующей электронной микроскопии, элементный состав исследован методом энергодисперсионной спектроскопии.

Formation of a ceramic matrix of composition (Si-B-C) of composit materials by the CVI method

Bodyan A.G.

MRUT, Korolev, Russia

Ceramic-matrix composite materials (CMC) with a matrix based on silicon carbide (SiC) have a number of unique properties: low density, high specific strength, chemical resistance, high modulus of elasticity, heat resistance and heat resistance. The heat resistance of composite materials with a SiC matrix is given by a protective layer of silicon oxide (SiO₂) formed during the oxidation of the SiC matrix. The formation of a thin viscous oxide layer during matrix oxidation also allows achieving the effect of self-healing of matrix cracks and pores during the oxidation process.

The self-healing effect for the SiC matrix appears at relatively high temperatures, above ~ 1400 ° C. However, there is a need to use CCCM at a temperature of the order of 1000 ° C for hundreds of hours. When testing CCCM with a silicon carbide matrix at temperatures below 1000 ° C, deterioration of all parameters of the material is observed, associated with the oxidation of carbon filaments by an oxidizing medium penetrating deep into the material through matrix cracks. Burnout of carbon reinforcing threads is well noticeable even at a temperature of 400 ° C. Today, there is an urgent task to develop CM with a self-healing effect from 400 ° C. This will make it possible to use these composite materials in aircraft gas turbine engines and other gas turbine installations.

One of the ways to reduce the temperature of the self-healing effect of matrices based on SiC is to introduce boron atoms into the matrix. Materials based on Si-B-C are characterized by a lower oxidation temperature compared to pure SiC. The aforementioned properties of the material based on Si-B-C make it possible to reduce the temperature of the self-healing effect of cracks to a value of about 450 ° C.

For maximum self-healing effect, specialists from the universities of Bordeaux have developed [SiC-B4C]_n multilayer structures. We set ourselves the task of compiling the scientific and technical foundations for creating a similar matrix using the process of deposition of SiC and monomethylsilane developed earlier in JSC "Kompozit".

As a result of the work, the processes of deposition by the CVI and CVD method of the B4C coating were carried out. Gases were used as precursors: BCl₃ and CH₄. The microstructure was investigated by scanning electron microscopy, and the elemental composition was investigated by energy dispersive spectrometry.

Метод расчёта на прочность фланцев соединения трубопроводов с металлическим деформируемым Z-образным уплотнением

Бойков А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

При проектировании фланцевых соединений возникает необходимость обеспечения прочности фланцев. При этом чрезмерное увеличение массы фланцев приведёт к неоправданному увеличению нагрузок, действующих на летательный аппарат. Чтобы обеспечить прочность фланцев и при этом избежать неоправданного увеличения их массы необходимо разработать метод их расчёта на прочность, при помощи которого можно учесть как силовое влияние изгиба болтов, так и влияние осесимметричного изгиба трубы, соединённой с фланцем. По части учёта влияния болтов данную задачу можно решить, представив болт как балку и связав параметры изгиба болта и изгиба фланца через уравнение упругой линии балки и формулу поворота фланца. По части учёта влияния трубы задача решается через уравнения совместности перемещений крайних точек трубы и фланца, при этом перемещения крайнего сечения трубы выражаются через зависимости моментной теории оболочек, а радиальное перемещение точки сопряжения фланца с трубой и поворот фланца – через теорию осесимметричной деформации колец большой кривизны К.Б. Бицено. Таким образом, выводится выражение, которое помогает вычислить изгибающий момент фланца с учётом влияния болтов соединения и трубы. Зная скорректированный изгибающий момент, можно провести расчёт на прочность фланцев, используя уже классические зависимости теории осесимметричной деформации колец большой кривизны К.Б. Бицено. Полученные зависимости следует учитывать также при расчёте на прочность болтов соединения, поскольку классическая теория расчёта на прочность болтов фланцевого соединения предполагает только растяжение болтов, в то время, как в рассматриваемом соединении они подвергаются не только растяжению, но и изгибу.

Strength analysis method for flanges of connection of pipes with Z-shape metal deformable seal

Boikov A.A.

MAI, Moscow, Russia

It is necessary to provide strength of flanges during developing of flange connections. At the same time extreme increasing of flanges' mass will lead to unreasonable increase of loads, acting on flying vehicle. It is necessary to develop strength analysis method for flanges, which allows to take into consideration force influence of bending of screws and axissymmetrical bending of pipes, connected with flange, to provide strength of flanges and avoid unreasonable increase of their mass. In the part of taking into consideration of screws' influence this problem can be solved by means of considering screw as a beam and connecting of parameters of screw bending and flange bending through the equation of elastic line of beam and formula of flange rotation. In the part of taking into consideration of pipe influence this problem can be solved by means of equations of consistency of the displacements of edge points of pipe and flange, in this case displacements of edge profile of the pipe are determined by means of equations of moment theory of the shells, radial displacement of connection point of flange and pipe and flange rotation are determined by means of equations of theory of axissymmetrical deformation of the rings with high curvature of K.B. Bitseno. By means of that, equation, which allows to calculate bending moment of flange with taking into consideration of influence of screws and pipe, is obtained. Knowing corrected bending moment, it is possible to make strength analysis of flange, using classical equations of theory of axissymmetrical deformation of the rings with high curvature of K.B. Bitseno. Obtained equations can be used also in strength analysis of screws, because classical theory considering only tension of screws, during the loading, but at the same time in considered connection they loaded also by bending.

Проблемы контактирования при проведении испытаний современных СБИС

¹Боровов А.С., ²Смирнов К.К., ²Назаров А.В.

¹ФГУ ФНИИИСИ РАН, ²МАИ, г. Москва, Россия

В докладе рассмотрены основные типы корпусов современных сложно-функциональных СБИС, основные испытания СБИС, а так же классификация контактных устройств и способов контактирования с микросхемой, а так же разработан аппаратно-программный комплекс для тестирования контактных устройств. Выделены 5 наиболее распространенных методов контактирования микросхемы с контактным устройством: «прижим», пружины, «врезание», подпружиненный контакт, кельвиновский способ контактирования. У каждого способа есть как достоинства, так и недостатки.

Для выявления недостатков и неисправностей контактных устройств был разработан аппаратно-программный комплекс для тестирования контактных устройств. Комплекс позволяет тестировать КУ по отдельности и тем самым выявлять механические повреждения выводов, окисление или загрязнение. Принцип работы тестера КУ основан на измерении сопротивления контактов КУ. Тестер состоит из основного измерительного модуля и нескольких плат расширения, предназначенных для разных типов КУ. Для работы тестера требуется специальное программное обеспечение.

Для примера в работе было проведено испытание КУ на надежность. Произведено всего пятьсот контактирований, после первого, двухсот пятидесятого и пятисотого контактирования были сформированы карты отказов и сопротивлений. По ним можно увидеть, как с прохождением циклов проверки, увеличивалось количество отказов.

Contact problems during testing of modern VLSI

¹Borovov A.S., ²Smimov K.K., ²Nazarov A.V.

¹SRISA/NIISI RAS, ²MAI, Moscow, Russia

The report discusses the main types of cases of modern complex-functional VLSI, the main tests of VLSI, as well as the classification of contact devices and methods of contacting with a microcircuit, as well as a hardware and software complex for testing contact devices. The 5 most common methods of contacting a microcircuit with a contact device are highlighted: "clamp", springs, "plunge", spring-loaded contact, Kelvin contact method. Each method has both advantages and disadvantages.

To identify shortcomings and malfunctions of contact devices, a hardware and software complex was developed for testing contact devices. The complex allows you to test KU separately and thereby identify mechanical damage to the terminals, oxidation or contamination. The principle of operation of the KU tester is based on measuring the resistance of the KU contacts. The tester consists of a main measuring module and several expansion boards designed for different types of KU. The tester requires special software to operate.

As an example, the work carried out a test of the KU for reliability. Only five hundred contacts were made, after the first, two hundred and fiftieth and five hundredth contacts, maps of failures and resistances were formed. From them you can see how the number of failures increased with the passage of the test cycles.

Прикладные вопросы организации участка аддитивного производства для изготовления расходных/запасных принадлежностей на предприятии

Брыкин В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном динамичном мире компании находятся в постоянной конкуренции, причем сегодня это конкуренция не только самой конечной продукции и компонентов к ней, но и систем послепродажного обслуживания, в ходе которого компании в долгосрочном периоде зарабатывают гораздо больше, чем от первичной реализации продукции. Корпорации сталкиваются с жесткими требованиями рынка: время обратной связи на запрос клиента должно быть минимальным, гарантия выполнения сроков поставок, актуальная ценовая политика. Цепочка поставок запасных частей играет важную роль в обеспечении

качественного послепродажного обслуживания, так как наличие запасных частей и/или их оперативная поставка обеспечивает возможность своевременного сервисного обслуживания, что повышает коэффициент бесперебойной работы транспортных предприятий.

Данная работа посвящена исследованию потенциальной области применения технологий аддитивного производства (АП) – производству компонентов и запасных частей. На примере прикладных задач реальной конвейерной линии Нижнеломовского завода и актуальных запросов производства была проанализирована экономическая эффективность различных установок быстрого прототипирования технологии выборочного лазерного спекания полимерных порошковых материалов (SLS). В работе предлагается алгоритм определения экономического эффекта каждого конкретного запуска SLS-установки в зависимости от конкретного запроса производственной линии завода в конкретный момент времени. Также выведена методика оценки весовых коэффициентов, которые позволяют оценить степень готовности интеграции различных установок АП в производственные процессы предприятия.

По результатам работы сформулированы рекомендации по экспресс-анализу экономического эффекта от внедрения установок АП в цепочку производства запасных частей и компонентов.

Applied questions of the organization of an additive manufacturing site for the production of spare parts at the enterprise

Brykin V.A.

MAI, Moscow, Russia

In modern dynamic world, companies are in a constant struggle and competition. Today they compete not only for the very end products and components for them, but also for after-sales service systems, during which companies in the long term earn much more than from the initial sale of products. Corporations are faced with tough market requirements: the time for feedback on a client's request should be minimal, a guarantee of delivery deadlines, and an up-to-date pricing policy. The spare parts supply chain plays an important role in ensuring quality after-sales service, since the availability of spare parts and / or their prompt supply ensures the possibility of timely service, which increases the uptime of transport companies.

This work is devoted to the study of the potential area of application of additive manufacturing (AM) technologies - the production of components and spare parts. On the example of applied problems of a real conveyor line of the Nizhny Lomov's plant and actual production requests, the economic efficiency of various installations for rapid prototyping of the technology of selective laser sintering (SLS) of polymer powder materials was analyzed. This thesis proposes an algorithm for determining the economic effect of each specific launch of an SLS-machine, depending on the specific request of the plant's production line at a particular time.

Also, a methodology for assessing weight coefficients has been developed, which makes it possible to assess the degree of readiness of the integration of various AM installations into the production processes of an enterprise.

Based on the results of the work, recommendations were formulated for an express analysis of the economic effect from the introduction of AP units into the chain of production of spare parts and components.

Увеличение абляционной устойчивости углерод – углеродных композитов посредством формирования тугоплавкого слоя ZrB₂-SiC

Бурлаченко А.Г., Мировой Ю.А., Бужкова С.П.

ИФПМ СО РАН, г. Томск, Россия

При низкой плотности и высокой прочности низкая окислительная устойчивость углерод-углеродных (C/Cs) композитов при температурах выше 450°C в воздушной атмосфере значительно ограничивает их применение в качестве высокотемпературных конструкционных элементов. В связи с чем, необходимо улучшение окислительной устойчивости C/Cs композитов.

В последние годы многие сверхвысокотемпературные керамические материалы (УНТС), такие как ZrC , HfC , TaC и ZrB_2 , использовались в качестве покрытий для композитов C/Cs, в значительной мере устойчивых к абляционным воздействиям. Но в силу незначительной толщины покрытий длительность высокотемпературной устойчивости в редких случаях достигает 250 секунд.

Диборид циркония (ZrB_2) обладает высокой температурой плавления, высокой теплопроводностью и хорошей термостойкостью, а также низкой плотностью, что делает его одним из основных материалов для применения в высокотемпературной среде, чтобы противостоять окислению и износу. Хорошо известно, что добавление карбида кремния (SiC) может значительно улучшить окислительную устойчивость керамики на основе ZrB_2 благодаря формированию при высоких температурах тугоплавкой стеклофазы, при этом оптимальное количество SiC составляет от 15 до 20 об.%.

Цель данной работы – формирование абляционно-стойкого слоя для увеличения абляционной устойчивости C/Cs композитов при высоких температурах в кислородсодержащей среде.

Фронтальная поверхность C/Cs материалов, с защитным слоем на основе ZrB_2 (15, 20 об.емн.%) SiC была подвергнута воздействию высокоэнthalпийного кислородсодержащего потока с температурой абляционной струи 2200°C. Длительность изотермической выдержки составляла 300 секунд.

Показано, что в процессе абляции наблюдается незначительный прирост массы порядка 0,06 г/см², а на поверхности композита формируются слой моноклинного ZrO_2 . Так же в процессе окисления происходит залечивание трещиноватой структуры поверхности формируемой на этапе получения композита.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ (СП-3 630.2019.3.)

Increasing the ablative stability of carbon composites by forming a refractory ZrB_2 -SiC layer

Burlachenko A.G., Mirovoy Y.A., Buyakova S.P.
ISPMS SB RAS, Tomsk, Russia

At low density and high strength, the low oxidative stability of carbon-carbon (C/Cs) composites at temperatures above 450°C in the air atmosphere significantly limits their use as high-temperature structural elements. Therefore, it is necessary to improve the oxidative stability of C/C composites.

In recent years, many ultra-high-temperature ceramic materials (УНТС), such as ZrC , HfC , TaC , and ZrB_2 , have been used as coatings for C/Cs composites that are largely resistant to ablation. But due to the insignificant thickness of the coatings, the duration of high-temperature stability in rare cases reaches 250 seconds.

Zirconium diboride (ZrB_2) has a high melting point, high thermal conductivity and good heat resistance, as well as low density, which makes it one of the main materials for use in high-temperature environments to resist oxidation and wear. It is well known that the addition of silicon carbide (SiC) can significantly improve the oxidation stability of ZrB_2 -based ceramics due to the formation of a refractory glass phase at high temperatures, with the optimal amount of SiC ranging from 15 to 20 vol.%.

The aim of this work is to form an ablation – resistant layer to increase the ablation stability of C/Cs composites at high temperatures in an oxygen - containing medium.

Front surface of C/Cs materials, with a protective layer based on ZrB_2 (15, 20 vol.%) SiC was exposed to a high-enthalpy oxygen-containing stream with an ablation jet temperature of 2200°C. The duration of the isothermal exposure was 300 seconds.

It is shown that during ablation, a slight increase in mass of about 0.06 g/cm² is observed, and a layer of monoclinic ZrO_2 is formed on the surface of the composite. Also, during the oxidation process, the fractured structure of the surface formed at the stage of obtaining the composite is healed.

The work was supported by the Russian President's scholarship (SP-3 630.2019.3.)

Исследование метода ионно-плазменной иммерсионной обработки полых катодов для нанесения алмазоподобных углеродных покрытий на внутренние поверхности труб

Быкадоров А.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Для повышения износостойкости, уменьшения коэффициента трения и защиты от коррозии используются специальные защитные покрытия, обладающие высокой твердостью, стойкостью к окислению и термической стабильностью. Это – многослойные покрытия, уникальные свойства которых определяются сочетанием нанокompозитной структуры с алмазоподобным углеродом. Материал показывает высокий уровень эрозионной, коррозионной и износостойкости благодаря применению оригинального способа осаждения алмазоподобного углерода и вариации состава металлической мишени (Ti, Cr-Al, Si), что делает его подходящим для нанесения на внутренние поверхности изделий, в частности труб.

Метод ионно-плазменной иммерсионной обработки полых катодов (HCPHP) позволяет с высокой скоростью осажда́ть алмазоподобные углеродные (DLC) пленки на внутренней поверхности труб.

Металлическая подложка сначала покрывается слоем Cr, далее пленка на основе DLC осаждается на поверхность Cr. Тонкий слой адгезии осаждают, а затем ряд легированных DLC слоев наносятся в зависимости от покрытия. Далее чистая DLC пленка напыляется в качестве поверхностного слоя.

Покрытие на основе DLC уменьшает потери массы более чем на 80% по сравнению с непокрытой подложкой. Испытания ASTM G75 и суспензия с высоким содержанием песка демонстрирует способность DLC покрытий защищать стальные трубы в условиях абразивных жидкостей, обычно встречающихся в нефтяных и газовых скважинах. Улучшение связано с высокой внутренней твердостью DLC покрытия, а также низким коэффициентом трения. Высокая твердость и гладкая поверхность DLC облегчают скольжения частиц песка по поверхности с минимальным взаимодействием с покрытием.

Сейчас данный метод может обеспечить обработку труб с отношением длины трубы к ее диаметру – 25:1. Нами ведется разработка установки, которая обеспечит увеличение этого отношения. Это можно делать, влияя на разряд в полом катоде. Так же проблему увеличения отношения длины к диаметру предполагается решать путем использования дополнительных магнитных полей и другими приемами.

Study of the method of ion-plasma immersion treatment of hollow cathodes for the deposition of diamond-like carbon coatings on the inner surfaces of pipes

Bykadorov A.N.

MAI, Moscow, Russia

To increase wear resistance, reduce the coefficient of friction and protect against corrosion, special protective coatings are used that have high hardness, oxidation resistance and thermal stability. These are multilayer coatings, the unique properties of which are determined by the combination of a nanocomposite structure with diamond-like carbon. The material shows a high level of erosion, corrosion and wear resistance due to the use of an original method of deposition of diamond-like carbon and variations in the composition of a metal target (Ti, Cr-Al, Si), which makes it suitable for application to the inner surfaces of products, in particular pipes.

Hollow Cathode Ion Plasma Immersion Treatment (HCPHP) allows a high rate deposition of diamond-like carbon (DLC) films on the inner surface of pipes.

The metal substrate is first coated with a Cr layer, then a DLC film is deposited on the Cr surface. A thin layer of adhesion is deposited and then a series of DLC doped layers are applied depending on the coating. Next, a pure DLC film is sprayed on as a surface layer.

DLC-based coating reduces weight loss by more than 80% compared to uncoated substrate. ASTM G75 testing and high sand slurry demonstrates the ability of DLC coatings to protect steel pipes in abrasive fluid conditions commonly found in oil and gas wells. The improvement is due to the high internal hardness of the DLC coating as well as the low coefficient of friction. The high

hardness and smooth surface of the DLC make it easy for sand particles to slide along the surface with minimal interaction with the coating.

Now this method can handle pipes with a pipe length to diameter ratio of 25: 1. We are developing an installation that will increase this ratio. This can be done by influencing the discharge in the hollow cathode. Also, the problem of increasing the ratio of length to diameter is supposed to be solved by using additional magnetic fields and other methods.

Кремнийорганические композиционные материалы на основе блоксополимеров для применения в авиации и космонавтике

Веселов А.В., Корноухова Н.С., Фомина В.М.

АО «ЦКБ РМ», г. Москва, Россия

В настоящее время кремнийорганические композиционные материалы получили широкое распространение в авиационной, космической, транспортной промышленности, а также в медицине и строительстве.

Современные самолеты и вертолеты проектируются и производятся с учетом особых требований к безопасности полетов и чрезвычайно жестких условий эксплуатации: многократно повторяемых пиковых нагрузок, форсированных режимов полетов во всепогодных и всеклиматических условиях, резких перепадов температур, аэродинамического характера внешних силовых воздействий [1].

Продукты на основе силоксановых каучуков обеспечивают высокую термическую стойкость, морозостойкость, атмосферостойкость, стойкость к действию кислорода и озона при повышенных температурах, радиационную стойкость, нетоксичность и биологическую инертность, хорошие изоляционные свойства. Наиболее распространенное применение кремнийорганические соединения получили при создании высокотемпературных клеев-герметиков [2].

Сотрудниками АО «ЦКБ РМ» были разработаны несколько видов силоксановых покрытий и компаундов на основе высокомолекулярных и низкомолекулярных блоксополимеров, обладающие высокими прочностными характеристиками, высокой эластичностью, высоким значением диэлектрических характеристик, устойчивых к воздействию влаги, тропической климата, соляного тумана, условий крайнего севера, радиации, обладающие антиобледенительными свойствами.

Заливочный кремнийорганический компаунд «Эластик» и пропиточно-заливочный кремнийорганический компаунд «Эластин». Компаунды биологически инертны, гидрофобные, радиационно-, химически стойки, устойчивы к воздействию озона, хлора, окислам серы и азота, сохраняющими свойства после воздействия влаги.

Покрытие «Универсал» биологически инертно, гидрофобно, обладает высокой прочностью и эластичностью, повышенной адгезией к самым разнородным материалам, обладает высокими электроизоляционными свойствами, сохраняющимися после воздействия влаги, устойчиво к радиации, окислам, морозу, теплу, обладает антиобледенительными свойствами. Покрытия ремонтпригодны и могут наноситься в полевых условиях.

Литература:

1. Основы производства ЛА и АД. Конструкции их композиционных материалов / Ю. Н. Макин / М. : МГТУГА, 1996. - 88 с.

2. Перспективы использования кремнийорганических полимеров при создании современных материалов и покрытий различных назначений / И. Д. Краев, О. В. Попков, Е. М. Шульцешов, А. Е. Сорокин, Г. Ю. Юрков / Электронный научный журнал «Труды ВИАМ», № 12, 2017

Organosilicon composite materials based on block copolymers for use in aviation and astronautics

Veselov A.V., Kornoukhova N.S., Phomina V.M.

JSC "CDO RM", Moscow, Russia

Currently, organosilicon composite materials are widely used in the aviation, space, transport industries, as well as in medicine and construction.

Modern airplanes and helicopters are designed and manufactured taking into account special requirements for flight safety and extremely harsh operating conditions: repeated peak loads, forced flight modes in all-weather and all-climatic conditions, sharp temperature changes, aerodynamic nature of external force effects [1].

Products based on silicone rubbers provide high thermal stability, frost resistance, weather resistance, resistance to oxygen and ozone at elevated temperatures, radiation resistance, non-toxicity and biological inertness, good insulating properties. The most widespread use of organosilicon compounds was obtained in the creation of high-temperature adhesives-sealants [2].

Employees of JSC "CDB RM" have developed several types of siloxane coatings and compounds based on high and low molecular weight block copolymers with high strength characteristics, high elasticity, high dielectric characteristics, resistant to moisture, tropical climate, salt fog, conditions of the extreme north, radiation with anti-icing properties.

Potting organosilicon compound "Elastek" and impregnating potting organosilicon compound "Elastin". Compounds are biologically inert, hydrophobic, radiation-resistant, chemically resistant, resistant to ozone, chlorine, sulfur and nitrogen oxides, retaining properties after exposure to moisture.

The coating "Universal" is biologically inert, hydrophobic, has high strength and elasticity, increased adhesion to the most diverse materials, has high electrical insulating properties that remain after exposure to moisture, is resistant to radiation, oxides, frost, heat, has anti-icing properties. The coatings are repairable and can be applied in the field.

References:

1. Osnovy proizvodstva LA i AD. Konstruktsii ikh kompozitsionnykh materialov / YU. N. Makin / M. : MGTUGA, 1996. - 88 s.
2. Perspektivy ispol'zovaniya kremniorganicheskikh polimerov pri sozdanii sovremennykh materialov i pokrytii razlichnykh naznachenii / I. D. Kraev, O. V. Popkov, E. M. Shul'deshov, A. E. Sorokin, G. YU. Yurkov / Ehlektronnyi nauchnyi zhurnal «Trudy VIAM», № 12, 2017

Металл-полимерный композиционный материал с обратимым эффектом памяти формы

Виноградов Р.Е., Борисова О.А., Коломывцев К.А., Алейкина К.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Разработка новых материалов – это важная задача современного материаловедения. И есть несколько способов их создания. Одним из них является изготовление композиционных материалов (КМ) на основе уже существующих материалов.

В работе исследуется реализация обратимого эффекта памяти формы в КМ, с полимерной матрицей из силиконовой резины, армированной волокнами из сплава ТН1 с целью создания функциональных металл-полимерных материалов для авиационных и космических конструкций.

Были изготовлены образцы КМ с армирующими волокнами из проволоки диаметром 0,9 мм сплава ТН1. В качестве матрицы КМ применяли двухкомпонентный силиконовый компаунд «ПентЭласт-750». Температуры обратного мартенситного превращения проволочных заготовок составляли $A_n = 37^{\circ}\text{C}$; $A_k = 42^{\circ}\text{C}$.

Степень деформации отрезков проволок составила до 5,6%, что не превышало критическую степень деформации сплава в мартенситном состоянии.

Проволока в виде П-образных шпилек помещалась в форму для получения пластины толщиной от 4 до 11 мм, шириной 10 мм и длиной 80 мм.

Образцы КМ нагревали в воде до 60°C , охлаждали на воздухе до температуры 20°C и в морозильной камере -16°C . На всех этапах измеряли внутренний диаметр изгиба образца и рассчитывали величины деформаций образца и армирующих волокон.

В процессе термоциклирования наблюдалось проявление обратимого ЭПФ. Из-за низкой теплопроводности матрицы необходимо снижать скорость нагрева и охлаждения образцов или выдерживать после нагрева и охлаждения не менее 20 минут при $+60^{\circ}\text{C}$ и не менее 2 часов при -16°C .

Величина обратимой деформации зависела от объемной доли армирования и исходной разности деформации матрицы и армирующих волокон. Так для образца с малой объемной долей армирования (1,6%) накапливаемая и восстанавливаемая деформация не превышает 0,3% по волокну и 2,4% по композиционному материалу.

Для образцов с высокой долей (3,2%) армирующих волокон жесткость матрицы слишком мала, и она не способна развить усилия для деформации волокон в процессе охлаждения, что приводит к низкой деформации волокна – 1,2% и 8% деформации всего образца.

Наилучшие результаты показали образцы, где доля армирования около 2,1%. Там наблюдалась максимальная обратимая деформация армирующего волокна и композиционного материала в целом – 1,6 и 10% соответственно. Этих значений достаточно для разработки трансформирующихся конструкций и актуаторов для различных областей применения.

Metal-polymer composite material with reversible shape memory effect

Vinogradov R.E., Borisova O.A., Kolomytsev K.A., Alikina K.V.

MAI, Moscow, Russia

The development of new materials is an important task of modern materials science. And there are several ways to create them. One of them is the production of composite materials (CM) based on existing materials.

The paper investigates the implementation of the reversible shape memory effect in CM with a polymer matrix made of silicone rubber reinforced with TN1 alloy fibers in order to create functional metal-polymer materials for aviation and space structures.

Samples of KM with reinforcing fibers from a wire with a diameter of 0.9 mm of the TN1 alloy were made. Two-component silicone compound "Pentelast-750" was used as the CM matrix.

The degree of deformation of the wire segments was up to 5%, which did not exceed the critical degree of deformation of the alloy in the martensitic state. Wire in the form of U-shaped pins was placed in a mold to produce a plate with a thickness of 4 to 11mm, a width of 10mm and a length of 80mm.

KM samples were heated in water to 60°C, cooled in air to 20°C, and in a freezer to 16°C. At all stages, the internal diameter of the sample bend was measured and the values of deformations of the sample and reinforcing fibers were calculated.

In the process of thermal Cycling was observed manifestation of reversible EPF. Due to the low thermal conductivity of the matrix, it is necessary to reduce the rate of heating and cooling of the samples or maintain them after heating and cooling for at least 20 minutes at +60 and at least 2 hours at -16°C.

The amount of reversible deformation depended on the volume fraction of the reinforcement and the initial difference between the deformation of the matrix and the reinforcing fibers. For a sample with a small volume fraction of reinforcement (1.6%), the accumulated and recoverable deformation does not exceed 0.3% for the fiber and 2.4% for the composite material.

For samples with a high proportion 3.2% of reinforcing fibers, the stiffness of the matrix is too small, and it is not able to develop forces to deform the fibers during cooling, which leads to low fiber deformation – 1% and 8% deformation of CM.

The best results were shown by samples where the proportion of reinforcement is about 2%. There, the maximum reversible deformation of the reinforcing fiber and the composite material as a whole was observed – 1 and 10%. These values are sufficient for the development of transformable structures and actuators for various applications.

Получение трубчатых полимерных композиционных материалов для авиастроения методом электроспиннинга

Волков Д.А.

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

Во многих областях науки и техники, в том числе и в авиастроении, чрезвычайно важно применение лёгких и прочных материалов, таких как полимерные композиционные

материалы. Один из методов снижения массы летательных аппаратов можно подсмотреть в природе — это создание полых трубчатых структур с заданными анизотропными механическими характеристиками на подобию костей птиц.

В данной работе создана установка с высоковольтным генератором для получения полых полимерных трубок методом электроспиннинга. Она позволяет ориентированно укладывать поперек и вдоль оси цилиндра волокна субмикронного размера для придания требуемой механической прочности получаемой конструкции трубок [1-3]. Идея представленного метода заключается в создании вращающейся на больших оборотах цилиндрической коллекторной системы, которая позволяет формировать между электродами трубки, стенки которых представляют ориентированно уложенные волокна, угол ориентировки которых зависит от оборотов вала.

Для создания установки и реализации данного метода был разработан двуканальный высоковольтный высокочастотный импульсный генератор [4] с системой драйвер-ключ, которые коммутируют к коллекторной системе напряжением до 20 кВ. Генератор состоит из двух синхронизированных низковольтных управляющих генераторов, позволяющих изменять период выходного высоковольтного сигнала, двух драйверов, полностью управляющих четырьмя высоковольтными коммутаторами и гальванически развязывающие низковольтную и высоковольтную части системы. Формирование высоковольтных импульсов на электродах коллекторной системы происходит за счет попеременного открывания и закрывания ключей. Для ориентированной укладки между двумя электродами фазовый сдвиг составляет 180° .

Полученный на разработанной установке материал обладает различными механическими свойствами в зависимости от применяемого полимера и ориентации волокон. В заключении можно сказать, что разработанный метод позволяет получать трубчатые конструкции с заданными свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 18-29-17066 мк.

Литература:

1. Rebrov I.E. et al. // *Chemical Engineering Journal*. 2020. 10.1016/j.cej.2020.126561.
2. Lukanina K.I. et. al. // XXI Mendeleev congress on general and applied chemistry. Saint Petersburg, 2019. Vol. 2b. P. 261–261.
3. Rebrov I.E., Kashin A.V. et al. // *Applied Physics*. №3. 2018. 85-89.
4. Kashin A.V. et al. // *Applied Physics*. №3. 2019. 98-104.

Production of tubular polymer composite materials for aircraft industry by electrospinning Volkov D.A.

NRC “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia

In modern complex systems, it is extremely important to use lightweight and durable materials, such as polymer composite materials, which have found wide application in many fields of science and technology, including aircraft industry. One of the methods of reducing the weight of aircraft is the creation of hollow tubular structures with specified anisotropic mechanical characteristics, similar to the bones of birds.

In this work, a system for electrospinning and a high-voltage generator have been created to produce hollow polymer tubes with submicron fibers oriented across and along the cylinder axis to impart the required mechanical strength to the resulting structure [1-3]. The idea of the method is to create a cylindrical collector system rotating at high speeds, which makes it possible to form tubes between the electrodes, the walls of which are orientedly laid fibers, the orientation angle of which depends on the shaft speed.

To create the setup and implement this method, a two-channel high-voltage high-frequency pulse generator [4] was developed with a driver-switch system. This system commutate to a collector system a voltage of up to 20 kV. The generator consists of two synchronized low-voltage control generators for changing the period of the high-voltage output signal, two drivers that completely control the four high-voltage switches. The formation of high-voltage pulses on the electrodes of

the collector system occurs due to the alternating opening and closing the switches. For oriented layering between two electrodes, the phase shift is set to 180°.

The material obtained using the method and the setup has different mechanical properties depending on the polymer and the orientation of the fibers. The developed method makes it possible to obtain a polymer composite material with desired properties suitable for aircraft construction.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research 18-29-17066 MK.

References:

1. Rebrov I.E. et al. // Chemical Engineering Journal. 2020. 10.1016/j.cej.2020.126561.
2. Lukanina K.I. et. al. // XXI Mendeleev congress on general and applied chemistry. Saint Petersburg, 2019. Vol. 2b. P. 261–261.
3. Rebrov I.E., Kashin A.V. et al. // Applied Physics. №3. 2018. 85-89.
4. Kashin A.V. et al. // Applied Physics. №3. 2019. 98-104.

Опыт оценки технологических параметров препрегов

Волков Д.А., Горлов А.В., Богданов А.П.

ОНПП «Технология», г. Обнинск, Россия

Проектирование деталей и конструкций из ПКМ непосредственно связано с выбором материала: углеродного/стеклянного/органического или другого наполнителя и полимерной матрицы. Основное внимание уделяется физическим и механическим характеристикам системы ПКМ, а также их реализации в конечном изделии. Естественным образом конструктор должен учитывать все аспекты механики композитов с учетом типа наполнителя, его геометрического и пространственного положения в пластике, вероятности снижения характеристик для необходимой силовой работы конструкции. Однако нельзя забывать, что проектирование деталей из ПКМ очень тесно сопряжено с технологичностью и технологией производства композиционных изделий и в данном случае как нельзя кстати применимо понятие технологического проектирования. Как известно, основным фактором, влияющим на работоспособность и качество изделия, является совмещение в одном процессе сразу двух процессов: получение материала детали и конструкции детали.

Опыт отработки новых композиционных материалов на основе препрегов нового поколения и постановки изделий на производство показывает, что оценка технологических характеристик препрега, как основы конструкционного композита, на этапе опытно-конструкторских работ является важнейшим фактором успешного развития проекта на этапах отработки конструкции и производства, как фундамент технологичного и стабильного производства.

Технологические параметры препрега зачастую прямо влияют на свойства ПКМ и стоимость готовой продукции. Эти параметры можно разделить на следующие группы:

- Производственные (качество рулона, качество подложки, цвет подложки и т.д.).
- Технологические (липкость, ширина интервала минимальной вязкости, минимальная температура реакции латентного отвердителя и т.п.).
- Конструктивные (возможность получения номинальной толщины при подпрессовке).

В представленной работе рассмотрен опыт АО «ОНПП «Технология» им.А.Г.Ромашина», приобретенный в рамках ряда проектов освоения новых композиционных материалов отечественного и зарубежного производства для изделий авиационной техники. Технологами был разработан перечень контрольных технологических параметров, подобраны качественные и количественные методики их оценки, выполнены работы по сравнению ряда материалов на основе этих методик, выданы рекомендации проектирующим КБ по использованию материалов.

Experience of assessment of technological parameters of prepreg

Volkov D.A., Gorlov A.V., Bogdanov A.P.

ORPE “Technologiya”, Obninsk, Russia

Design of details and designs from polymer composites is directly connected with the material choice: carbon/glass/organic or other reinforces and polymer matrix. The main attention is paid to

physical and mechanical characteristics of the composite system (polymerized carbon-/glass-/organoplastics or "crystallized" in case of thermoplastics), and also their realization in a final construction. Naturally, the designer has to consider all aspects of mechanic of composites taking into account type of a fiber, its geometrical and spatial orientation in composite, probability of decrease in characteristics for necessary loading of a design. However, it is impossible to forget that design of details from composites is very closely accompanied by technological effectiveness and the production technology of composite products. In this case the concept of technological design is applicable. As it's known that the major factor that influences on working capacity and quality of a product is combination in one process of two processes at once: receiving material of a detail and design of a detail at a time.

Experience of testing of new composite materials, based on prepreg of new generation, and statement of products on production shows that assessment of technical characteristics of a prepreg at a development stage, is the most important factor of successful development of the project both at a stage of testing of a design and at a series stage as the base of stable production.

Technological parameters of a prepreg often directly influence composites properties and cost of finished details. These parameters can be divided into the following groups:

- Production (quality of a roll, quality of a substrate, color of a substrate, etc.).
- Technological (stickiness, width of an interval of the minimum viscosity etc.).
- Constructive (a possibility of obtaining nominal thickness when subpressing).

In the presented work experience of JSC "ONPP "Tekhnologiya" of A. G. Romashin", acquired within a number of projects of development of new composite materials of domestic and foreign production for details of the aircraft is considered. Technologists developed the control list of technological parameters, qualitative and quantitative techniques of their assessment are picked up, works on comparison of a number of materials on the basis of these techniques are performed, recommendations to the design bureaus on use of materials are issued.

Выбор оптимальных материалов для конструкции ножки эндопротеза тазобедренного сустава (ТБС)

Грушин И.А., Князев М.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Полное эндопротезирование тазобедренного сустава является наиболее успешным методом лечения пациентов с остеоартрозом и ревматоидным артритом. Металлические материалы являются отличными кандидатами для изготовления эндопротезов, так как обладают превосходными биомеханическими свойствами. Наиболее часто используются: аустенитные стали, сплавы группы Co-Cr-Mo и титановые сплавы. Ключевыми факторами для выбора материала являются скорость коррозии, токсичность продуктов деградации материала, их форма и накопление в отдельных частях тела, выделение конкретных ионов и их влияние на организм человека.

Нержавеющие стали используются сравнительно редко, так как проигрывают титановым сплавам по таким важным параметрам как износостойкость, токсичность выделяемых ионов и коррозионная стойкость. Использование материалов этой группы для создания протеза ТБС ограничивает время его службы и создает дополнительные риски при долгосрочном использовании и потому представляет сравнительно малый интерес.

Сплавы на основе кобальта имеют превосходные характеристики усталостной прочности и сопротивляемости к износу. Отличной коррозионной стойкостью этот материал обязан спонтанно образующейся на поверхности пленке, состоящей в основном из Cr₂O₃ с небольшими долями оксидов кобальта и молибдена. Однако в агрессивной среде человеческого тела данные со временем они выделяют клинически значимые количества токсичные Co, Cr и Ni.

Титановые сплавы обладают высокой биосовместимостью и удельными механическими характеристиками. Плотность титановых сплавов находится в районе 4,5 г/см³, что почти в два раза ниже, чем у медицинских сплавов на основе кобальта, составляющей порядка 8,4 г/см³. Сравнительно низкая плотность позволяет создать протез с характеристиками, ближе

всего повторяющими человеческую кость. Модуль упругости титановых сплавов может составлять около 100 ГПа, в то время как у Co-Cr-Mo этот показатель превышает 200 ГПа (человеческая кость обладает модулем упругости 10-20 ГПа).

Таким образом титановые сплавы превосходят аналогичные материалы как по механическим, так и по химическим показателям биосовместимости. Ввиду всего вышеперечисленного можно с уверенностью говорить о превосходстве титановых сплавов как материала для изготовления эндопротезов тазобедренного сустава.

Selection of the optimal materials for the construction of the stem of the hip joint endoprosthesis (HJ)

Grushin I.A., Knyazev M.I.
MAI, Moscow, Russia

Total hip arthroplasty is the most successful treatment for patients with osteoarthritis and rheumatoid arthritis. Metallic materials are excellent candidates for the manufacture of endoprostheses because of their superior biomechanical properties. The most commonly used are: austenitic steels, alloys of the Co-Cr-Mo group and titanium alloys. The key factors for material selection are corrosion rate, toxicity of material degradation products, their shape and accumulation in certain parts of the body, release of specific ions and their effect on the human body.

Stainless steels are used relatively rarely, since they are inferior to titanium alloys in such important parameters as wear resistance, toxicity of released ions and corrosion resistance. The use of materials from this group for creating a hip joint prosthesis limits its service time and creates additional risks in long-term use, and therefore is of relatively little interest.

Cobalt based alloys have excellent fatigue and wear properties. This material owes its excellent corrosion resistance to a film formed spontaneously on the surface, consisting mainly of Cr₂O₃ with small proportions of cobalt and molybdenum oxides. However, in the aggressive environment of the human body, these data over time release clinically significant amounts of toxic Co, Cr and Ni.

Titanium alloys have high biocompatibility and specific mechanical characteristics. The density of titanium alloys is in the region of 4.5 g / cm³, which is almost two times lower than that of medical alloys based on cobalt, which is about 8.4g/cm³. The relatively low density allows the creation of a prosthesis with characteristics that closely resemble human bone. The modulus of elasticity of titanium alloys can be about 100 GPa, while in Co-Cr-Mo this figure exceeds 200 GPa (human bone has an elastic modulus of 10-20 GPa).

Thus, titanium alloys are superior to similar materials in both mechanical and chemical biocompatibility. In view of all of the above, we can confidently speak about the superiority of titanium alloys as a material for the manufacture of hip joint endoprostheses.

Исследование структуры и свойств биосовместимых материалов

Гуреев И.И., Грушин И.А., Орлов А.А., Виноградов Р.Е.
МАИ, г. Москва, Россия

Металлические материалы используются для изготовления медицинских изделий и хирургического инструмента в течение многих десятков лет. Это обусловлено тем, что по сравнению с полимерными и керамическими материалами металлы имеют необходимое сочетание прочности, пластичности, ударной вязкости и усталостной прочности, а накопленный опыт производства полуфабрикатов позволяет производить их в необходимом количестве. Номенклатура материалов, которые могут быть использованы для изготовления медицинских изделий, достаточно ограничена. Это аустенитные нержавеющие стали, сплавы на основе кобальта и титана. К медицинским материалам предъявляется ряд требований, которые можно разделить на три группы:

1. Биосовместимость, которая оценивается по токсичности.
2. Механическая совместимость, которая оценивается в первую очередь по модулю упругости.
3. Свойства поверхности, которые оцениваются по износостойкости и коррозионной стойкости.

В данной работе исследована структура и определены механические свойства полуфабрикатов в исходном состоянии. Проведённые металлографические исследования показали, что структура литого сплава на основе кобальта представлена дендритными ячейками с небольшим количеством карбидов хрома, по границам которых выделяются интерметаллидные фазы. Сплав Ti-6Al-4V имеет глобулярную ($\alpha+\beta$)-структуру, а в сплаве 316L формируется типичная однофазная структура, представленная полиэдрическими зёрнами γ -фазы. Проведённые механические испытания показали, что предел прочности образцов из сплава на основе кобальта и стали 316L имеет приблизительно равные значения и существенно уступают сплаву Ti-6Al-4V. Наименьшая пластичность наблюдается у кобальтового сплава, что, по-видимому, обусловлено литым состоянием и наличием большого количества интерметаллидных фаз и карбида хрома.

Study of the structure and properties of biocompatible materials

Gureev I.I., Grushin I.A., Orlov A.A., Vinogradov R.E.

MAI, Moscow, Russia

Metallic materials have been used to make medical devices and surgical instruments for many decades. This is due to the fact that, in comparison with polymer and ceramic materials, metals have the necessary combination of strength, ductility, impact strength and fatigue strength, and the accumulated experience in the production of semi-finished products allows them to be produced in the required quantity. The range of materials that can be used for the manufacture of medical devices is rather limited. These are austenitic stainless steels, cobalt and titanium based alloys. A number of requirements are imposed on medical materials, which can be divided into three groups:

1. Biocompatibility, which is assessed by toxicity.
2. Mechanical compatibility, which is assessed primarily by the modulus of elasticity.
3. Surface properties, which are evaluated for wear resistance and corrosion resistance.

In this work, the structure is investigated and the mechanical properties of semi-finished products in the initial state are determined. Metallographic studies have shown that the structure of a cast cobalt-based alloy is represented by dendritic cells with a small amount of chromium carbides, along the boundaries of which intermetallic phases are precipitated. Alloy Ti-6Al-4V has a globular ($\alpha + \beta$) -structure, while alloy 316L forms a typical single-phase structure, represented by polyhedral grains of the γ -phase. Mechanical tests have shown that the ultimate strength of specimens made of alloy based on cobalt and steel 316L has approximately equal values and is significantly inferior to alloy Ti-6Al-4V. The lowest plasticity is observed in the cobalt alloy, which, apparently, is due to the cast state and the presence of a large number of intermetallic phases and chromium carbide.

Влияние водорода на коррозионные свойства магниевых сплавов, легированных РЗМ и цирконием

Гуркина Е.Д., Соловьёв А.С., Савостин Д.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В последние годы магний и сплавы на его основе вызывают большой интерес как перспективные материалы в различных областях медицины. Благодаря своему набору физических и механических свойств, таких как низкая плотность и высокая удельная прочность, относительно низкая коррозионная стойкость и модуль упругости, близкий к модулю упругости костей по сравнению с другими металлическими материалами, используемыми в производстве имплантатов, магний считается наиболее универсальным материалом в области биотехнологий. Поскольку магниевые сплавы применяются в теле человека, то коррозионная стойкость таких изделий имеет первостепенное значение. В частности водород, являющийся неизбежной примесью в магниевых сплавах, оказывает значительное влияние на способность магниевых сплавов сопротивляться коррозии.

Изменение коррозионной стойкости в первую очередь связано с изменениями, протекающими в фазовом составе сплавов. В частности, в магниевых сплавах системы Mg-Y-Zn при достаточном содержании цинка может образовываться фаза (Mg, Zn)₅Y, играющая роль катода относительно α -твёрдого раствора магния. По этой причине граница

этих фаз является сильным концентратором коррозионных напряжений, что и приводит к появлению коррозионных трещин. При этом отжиг приводит к уменьшению количества газов, растворённых в сплаве, в частности водорода, чем уменьшает разность потенциалов между фазами. Благодаря этому наблюдается увеличение времени до коррозионного растрескивания.

Можно видеть, что присутствие водорода, растворённого в α -фазе магния, может негативно влиять на коррозионную стойкость сплавов системы Mg–Y–Zn. Использование технологических процессов, позволяющих снизить содержание растворённых газов в магниевых сплавах, а также внедрение современных методов обработки и производства, является эффективным способом борьбы с негативным влиянием водорода.

The influence of hydrogen on corrosion properties of magnesium alloys alloyed with rare-earth metals and zirconium

Gurkina E.D., Solovyov A.S., Savostin D.S.

MAI, Moscow, Russia

In recent years, magnesium and its alloys have attracted great interest as promising materials in various fields of medicine. Due to its set of physical and mechanical properties, such as low density and high specific strength, relatively low corrosion resistance, and a modulus of elasticity close to that of bone compared to other metallic materials used in implant manufacturing, magnesium is considered the most versatile material in the field of biotechnology. Since magnesium alloys are used in the human body, the corrosion resistance of such products is of paramount importance. In particular, hydrogen, which is an unavoidable impurity in magnesium alloys, has a significant effect on the ability of magnesium alloys to resist corrosion.

Changes in corrosion resistance are primarily associated with changes in the phase composition of alloys. In particular, magnesium alloys of the Mg–Y–Zn system with a sufficient zinc content can form a phase (Mg, Zn) δ Y, which plays the role of a cathode relative to the α -solid solution of magnesium. For this reason, the boundary of these phases is a strong concentrator of corrosion stresses, which leads to the appearance of corrosion cracks. In this case, annealing reduces the amount of gases dissolved in the alloy, in particular hydrogen, which reduces the potential difference between the phases. This results in an increase in the time to corrosion cracking.

It can be seen that the presence of hydrogen dissolved in the magnesium α -phase can negatively affect the corrosion resistance of Mg–Y–Zn alloys. The use of technological processes that reduce the content of dissolved gases in magnesium alloys, as well as the introduction of modern processing and production methods, is an effective way to combat the negative influence of the negative effects of hydrogen.

Совершенствование системы обработки и отображения визуальной информации комплекса тренажеров Российского сегмента международной космической станции

Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Шадрин М.Ю.

ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Одним из направлений совершенствования информационных систем тренажерных комплексов является повышение информативности за счет увеличения числа информационных источников потоковых данных и обеспечение эффективной системой контроля и управления тренировочным процессом. Для реализации данных условий проведена модернизация системы обработки и отображения визуальной информации (СООВИ) комплекса тренажеров российского сегмента Международной космической станции (КТ РС МКС) ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина».

В результате модернизации расширены возможности СООВИ в части предоставления объективной и достоверной информации членам Межведомственной экзаменационной комиссии (МЭК) о ходе тренировочного процесса, как в реальном времени, так и для последующего анализа тренировок. С этой целью для СООВИ разработан Регистратор аудиовизуальных данных, характеризующих динамику тренировочного процесса. Программно-алгоритмические решения Регистратора обеспечивают одновременную выборочную регистрацию не менее 12 видеосигналов и одного аудиосигнала; быстрый

поиск в архиве и отображение необходимых фрагментов тренировочного процесса, не останавливая при этом регистрацию данных. Основной состав Регистратора: системный блок на базе персонального компьютера, специальное программное обеспечение (СПО), графический пользовательский интерфейс (ГПИ). Доработаны программно-аппаратные средства для управления, обработки и отображения в реальном масштабе времени расширенного потока видеоданных тренировочного процесса. Выполнение функций осуществляется посредством интерактивного взаимодействия оператора пульта контроля и управления (ПКУ) с соответствующими компонентами ГПИ.

Архитектурные и программно-аппаратные решения, используемые в СООВИ, создают предпосылки для их совершенствования с оптимальными технологическими и экономическими затратами при реализации новых требований по информационному обеспечению тренировочного процесса. Развитие СООВИ также будет связано с возможной реализацией концепции интегрированных тренажерных комплексов и учетом их функциональных особенностей.

Improvement of the system for processing and displaying visual information of the simulator complex of the russian segment of the international space station

Dolgovesov B.S., Mazurok B.S., Shadrin M.Y.

IAeE SB RAS, Novosibirsk, Russia

One of the directions of improving the information systems of training complexes is increasing the information content by increasing the number of information sources of streaming data and providing an effective control and management system for the training process. To implement these conditions, the modernization of the system for processing and displaying visual information (SPDVI) of the complex of simulators of the Russian segment of the International Space Station (CS RS ISS) of the State Organization «Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center» was carried out.

As a result of the modernization, the capabilities of SPDVI have been expanded in terms of providing objective and reliable information to the members of the Interdepartmental Examination Commission (IEC) about the course of the training process, both in real time and for off-line analysis of training. For this purpose, the Registrator of audiovisual data has been developed for SPDVI, which characterizes the dynamics of the training process. Registrator's software and algorithmic solutions provide simultaneous selective registration of at least 12 video signals and one audio signal; quick search in the archive and display of the necessary fragments of the training process, without stopping the data recording. The main structure of the Registrator: a system unit based on a personal computer, special software (SPO), a graphical user interface (GUI). The software and hardware tools for control, processing and display in real time of the extended video data stream of the training process have been improved. The functions are performed by the interactive interaction of the operator of the monitoring and control panel (PCU) with the corresponding components of the GUI.

Architectural and software and hardware solutions used in SPDVI create prerequisites for their improvement with optimal technological and economic costs while implementing new requirements for information support of the training process. The development of SPDVI will also be associated with the possible implementation of the concept of integrated training complexes and taking into account their functional features.

Прогнозирование жаропрочных свойств титановых сплавов при температурах эксплуатации

¹Егорова Ю.Б., ²Давыденко Л.В., ¹Шмырова А.В.

¹МАИ, ²Московский Политех, г. Москва, Россия

Титановые сплавы относятся к материалам, предназначенным для длительной эксплуатации при достаточно высоких температурах. К настоящему времени в РФ разработано более 50 марок титановых сплавов разных классов, которые используют при различных температурах в зависимости от химического состава и уровня механических свойств. Конструкционные сплавы применяют до температур 300-450°C, в то время как

жаропрочные – до 500-600°C (кратковременно до 650°C). О возможности работы титановых сплавов при повышенных температурах можно судить, прежде всего, по зависимости кратковременных прочностных свойств от температуры. Цель настоящей работы состояла в статистической оценке влияния температуры испытания (20-600°C) на предел прочности титановых сплавов разных классов. Были исследованы температурные зависимости предела прочности различных полуфабрикатов (прутки, листы) из 37 серийных и опытных титановых сплавов, разработанных в ВИАМ. Статистическую обработку проводили с помощью ППП Statistica. Для оценки прогнозируемого уровня механических свойств полуфабрикатов в зависимости от температуры испытания был проведен корреляционно-регрессионный анализ при доверительной вероятности 0,95. Исходными данными послужили сведения, приведенные в справочниках, монографиях, статьях и различной нормативной документации. Сопоставление сплавов по уровню прочности с повышением температуры осложняется тем, что в разных температурных интервалах степень разупрочнения каждого сплава неодинакова. Поэтому было проведено сопоставление не абсолютных значений предела прочности (в МПа), а относительных, выраженных в процентах по сравнению с комнатной температурой. Для сопоставления сплавов был выбран метод кластерного анализа, который позволил выделить 8 групп сплавов с приблизительно одинаковой интенсивностью снижения предела прочности. Предложены регрессионные модели, позволяющие провести оценку (с доверительной вероятностью 0,95) прогнозируемого уровня предела прочности отожженных листов и прутков при температуре эксплуатации, если известно значение предела прочности полуфабриката при комнатной температуре.

Predicting the heat-resistant properties of titanium alloys at operating temperatures

¹Egorova Y.B., ²Davydenko L.V., ¹Shmyrova A.V.

¹MAI, ²Moscow Polytech, Moscow, Russia

Titanium alloys are materials designed for long-term operation at sufficiently high temperatures. To date, the Russian Federation has developed more than 50 grades of titanium alloys of different classes, which are used at different temperatures depending on the chemical composition and level of mechanical properties. Structural alloys are used up to temperatures of 300-450°C, while heat – resistant alloys are used up to 500-600°C (for a short time up to 650°C). The possibility of operation of titanium alloys at elevated temperatures can be judged, first of all, by the dependence of short-term strength properties on temperature. The purpose of this work was to statistically evaluate the effect of the test temperature (20-600°C) on the ultimate strength of titanium alloys of different classes. Temperature dependences of the ultimate strength of various semi-finished products (bars, sheets) from 37 serial and experimental titanium alloys developed at VIAM were studied. Statistical processing was performed using the Statistica PPP. To estimate the predicted level of mechanical properties of semi-finished products depending on the test temperature, a correlation and regression analysis was performed with a confidence probability of 0.95. The source data is information provided in reference books, monographs, articles, and various regulatory documents. Comparison of alloys in terms of strength with increasing temperature is complicated by the fact that the degree of softening of each alloy varies in different temperature intervals. Therefore, the comparison was made not of absolute values of the ultimate strength (in MPa), but of relative values expressed as a percentage compared to room temperature. For comparison of alloys, the method of cluster analysis was chosen, which allowed us to identify 8 groups of alloys with approximately the same intensity of strength reduction. Regression models are proposed that allow us to evaluate (with a confidence probability of 0.95) the predicted strength level of annealed sheets and bars at the operating temperature, if the value of the strength limit of the semi-finished product at room temperature is known.

Определение остаточного ресурса нагруженных оболочек по данным фотометрического анализа их поверхности

Ермишкин В.А., Минина Н.А., Соловьева Ю.Б.

ИМЕТ РАН, г. г. Москва, Россия

Оценка остаточного ресурса нагруженных оболочек приобрела важное практическое значение и во многом благодаря тому, что они являются основой летательных аппаратов. Решение этой задачи наталкивается на большие трудности из-за необходимости учитывать в расчетах нестационарный характер воздействия на них механических и температурных воздействий. Это приводит к временной зависимости не только действующих нагрузок, но и механических характеристик конструкционных материалов, из которых изготовлен фюзеляж летательного аппарата. Смоделировать экспериментальные исследования этих зависимостей затруднительно, так как они в условиях эксплуатации являются функцией режимов полета. Замеры нагрузок и свойств материалов в полетных условиях неизбежно носят случайный, а не закономерный характер. Фотометрический анализ состояния поверхности исследуемого образца до нагружения и в любой момент после приложения нагрузки позволяет оценить степень поврежденности материала в функции времени нагружения. Повторив процедуру сравнения фрагментов поверхности, отснятые для последовательности моментов времени и обработав эту информацию с помощью (ФАСИ) получили кинетику повреждаемости материала. Если выполнить такую процедуру на момент зарождения трещины, то удастся оценить коэффициент интенсивности напряжений (КИН). Продолжив процесс нагружения и видеозапись распространения трещины удастся получить кинетическую кривую разрушения образца. Проведя аналогичные процедуры на натурном изделии во время стендовых испытаний можно получить оценки его остаточного ресурса для любого времени эксплуатации. Подобные исследования можно проводить после полетных испытаний летных аппаратов, что позволит изучить закономерности их повреждаемости при различных режимах полета и по этим данным оценить остаточный ресурс в функции параметров режима. Экспериментальные исследования с последующим фотометрическим анализом поврежденности материала были проведены на алюминиевых сплавах Д-16 и В95, которые согласуются с данными стандартных механических испытаний для этих сплавов.

Determination of the residual resource of loaded shells from the data of photometric analysis of their surface

Ermiushkin V.A., Minina N.A., Solovyova Yu.B.

IMET RAS, Moscow, Russia

Estimation of the residual life of loaded shells has acquired great practical importance and largely due to the fact that they are the basis of aircraft. The solution to this problem encounters great difficulties due to the need to take into account in the calculations the non-stationary nature of the effect on them of mechanical and temperature influences. This leads to a time dependence of not only the acting loads, but also the mechanical characteristics of the structural materials from which the aircraft fuselage is made. It is difficult to simulate experimental studies of these dependencies, since they are a function of flight modes under operating conditions. Measurements of loads and properties of materials in flight conditions are inevitably random, not natural. Photometric analysis of the state of the surface of the test specimen before loading and at any time after the application of the load makes it possible to assess the degree of material damage as a function of the loading time. Repeating the procedure for comparing surface fragments captured for a sequence of points in time and processing this information using a photometric structural image analyzer (PHASI), we obtained the kinetics of material damage. If such a procedure is performed at the moment of crack initiation, then it is possible to estimate the stress intensity factor (SIF). Continuing the loading process and video recording of the crack propagation, it is possible to obtain the kinetic curve of sample fracture. Having performed similar procedures on a full-scale product during bench tests, it is possible to obtain estimates of its residual resource for any time of operation. Such studies can be carried out after flight tests of aircraft, which will make it possible to study the patterns of their damage ability under various flight conditions and, using these data, to estimate the residual life as

a function of the mode parameters. Experimental studies with subsequent photometric analysis of material damage were carried out on aluminum alloys D-16 and V95, which are consistent with the data of standard mechanical tests for these alloys.

Применение супергидрофобных покрытий для борьбы с обледенением аэродинамических поверхностей самолёта

¹Жигулин И.Е., ²Емельяненко К.А., ²Сатаева Н.Е.

¹МАИ, ²ИФХЭ РАН, г. Москва, Россия

В последние годы одним из наиболее перспективных и высококонкурентных направлений в области создания противообледенительных материалов является разработка пассивных льдофобных покрытий, ориентированных не только на снижение накопления льда на поверхности при контакте с ударяющимися каплями атмосферной воды, но и способных, при определенных погодных условиях, полностью подавлять формирование льда.

Для устойчивых антиобледенительных характеристик льдофобное покрытие должно демонстрировать следующие свойства: снижение накопления переохлажденной воды, низкую адгезию к поверхности льдофобного материала, как жидкой воды, так и любых форм твердой воды, включая различные виды льда, инея и снега, высокое время задержки кристаллизации переохлажденных капель воды на поверхности материала и, наконец, низкую теплопередачу между поверхностью льдофобного каплей и материала, что уменьшает вероятность переохлаждения водной капли во время ее соударении с холодной поверхностью. Для использования в авиационной промышленности льдофобное покрытие также должно обладать стойкостью к протяженным абразивным нагрузкам и циклическим перепадам температур.

В данной работе, мы предложили стойкое льдофобное покрытие и показали наличие у него требуемых свойств.

В качестве испытуемых аэродинамических элементов самолёта были выбраны авиационный профиль ЦАГИ-831 и плоская пластина. Образцы были изготовлены из алюминия Д16. Для придания водо- и льдоотталкивающих свойств на поверхности испытательных образцов создавались супергидрофобные покрытия. Метод обработки супергидрофобных покрытий на алюминиевых сплавах был разработан в ИФХЭ РАН.

Испытания по проверке эффективности предотвращения образования льда и удаления льда проводились на стенде искусственного обледенения ЭУ-1 ФГУП «ЦАГИ», в условиях обледенения по приложению С, АП-25.

Результаты испытаний подтверждают их высокую противообледенительную способность: время до появления первых отложений льда на поверхности супергидрофобного покрытия после включения аэрозольного потока составило 4 минуты, зарегистрировано пониженное накопление льда и явление самопроизвольного удаления льда с поверхности супергидрофобных покрытий. На контрольном образце без покрытия отложение льда наблюдалось сразу после включения потока. Вышперечисленное говорит о высоком потенциале применения разработанных супергидрофобных покрытий для борьбы с обледенением аэродинамических поверхностей самолёта.

Implementation of superhydrophobic coating to counter icing on aircraft

¹Zhigulin I.E., ²Emelyanenko K.A., ²Sataeva N.E.

¹MAI, ²IPCE RAS, Moscow, Russia

One the most promising approach in anti-ice protection is based on fabrication of passive ice-phobic coatings which not only decrease ice accretion upon contact with atmospheric precipitations but also can postpone or even suppress ice formation upon contact with supercooled water.

For stable anti-icing behavior, an ice-phobic coating should demonstrate the following properties: a decreased accretion of supercooled water, low adhesion to the ice-phobic material surface for both liquid water and any forms of frozen water crystals, including various types of ice, frost, and snow, delaying the crystallization of supercooled water droplets that contact superhydrophobic surface, and, finally, decreased heat transfer from a droplet to the surface of ice-phobic material that

reduces the probability of drop supercooling while it contacts with a cold surface. Application of such coatings in aviation industry also requires resistance to extended abrasive loads and cyclic temperature changes.

In this work, we have proposed a resistant ice-phobic coating and have shown that it has the required properties.

Examination of ice-phobic and stability properties were carried out on TsAGI-831 airfoil and plate. The samples were made from D16 aluminum. Superhydrophobic coatings were fabricated on the surface of the test samples to impart water and ice-repellent characteristics by the method based on approach recently developed at the Institute of Physical Chemistry, Russian Academy of Sciences.

Tests to check the effectiveness of ice prevention and ice removal was performed at the artificial icing stand EU-1 of the TsAGI, in icing conditions defined in Appendix C, AP-25.

Our studies with icing simulation confirm the increased anti-icing ability: the surface of the superhydrophobic coating was completely free of ice accretion for 4 minutes after turning the aerosol flow. The reduced ice accumulation and the phenomenon of ice autoremoval upon the ice aggregate growth on the surface were also demonstrated. In contrast, on the uncoated control sample, ice accretion forms immediately after starting the test. Abovementioned results show a high potential for the application of the developed superhydrophobic coatings to counter icing on aircraft aerodynamic surfaces.

Влияние растворенного кислорода и времени погружения на коррозионное поведение мягкой стали в растворе бикарбоната

Жуков Е.Ю., Овчарова П.А., Барбанаква И.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Высокое содержание бикарбоната усиливает локальную коррозию, способствуя коррозионному растрескиванию под напряжением и точечной коррозии углеродистой стали. Бикарбонат-ионы уменьшают пассивно-активный потенциал для оксидов трехвалентного железа, в то же время увеличивая пассивно-активный потенциал перехода для магнетита с увеличением концентрации HCO_3^- , когда молярная концентрация превышает 10-2. Образование стабильной пленки может быть достигнуто при наличии достаточного количества бикарбоната [1].

Бикарбонат оказывает влияние на поляризационные характеристики в растворе бикарбонат/хлорид. Для мягкой стали в 1 г/л и 5 г/л бикарбоната с концентрацией хлорида 2 г/л в динамических условиях растворение в активной и предпассивной областях ускоряется присутствием бикарбонат-ионов за счет образования растворимого комплексного аниона $\text{Fe}(\text{CO}_3)_2^{2-}$. Ток анодной поляризации больше при использовании раствора бикарбоната 5 г/л при потенциале коррозии 600 мВ. Однако, выше этого потенциала растворение уменьшается с увеличением концентрации бикарбоната [2].

Время погружения мягкой стали в растворе бикарбоната/хлорида при 0,8 г/т растворенного кислорода в динамических условиях (2000 об/мин) при скоростях вращения оказывает заметное влияние на ток анодной и катодной поляризации. Эффект более очевидный при потенциалах коррозии между (-250 и + 250 мВ), где ток анодного потенциала уменьшается со временем погружения.

Результаты СЭМ поверхности образцов, погруженных в растворы бикарбонат/хлорид 1 г/л и 5 г/л при 2000 об/мин показывают, что ямки с относительно маленькими диаметрами в несколько микрон преобладали у образцов с низкой концентрацией бикарбоната. Плотность ям уменьшается в образце, подвергнутом воздействию раствора бикарбоната 5 г/л, но ямы становятся намного больше как по глубине, так и по ширине [3].

Глубина точечной коррозии увеличивается с увеличением концентрации бикарбоната. Снижение количества растворенного кислорода способствует пассивации, тогда как увеличение растворенного кислорода и HCO_3^- в бикарбонате/хлориде приводит к значительному увеличению процесса катодного восстановления кислорода и растворения анодного металла вследствие окисления. Время погружения оказывает важное влияние:

толщина оксидной пленки увеличивается, а скорость коррозии уменьшается с увеличением времени погружения.

Литература:

1. Кинг Ф., Торонто, Канада: 2007.
2. Линтер Б., Бурштейн Г. Коррос: 1999.
3. Тан И.Т., Вуйджисинг С.Л., Блэквуд Д.Дж. Коррос: 2014- 152–160 с.

Effect of dissolved oxygen and immersion time on corrosion behavior of mild steel in bicarbonate solution

Zhukov E.Y., Ovcharova P.A., Barbanakova I.A.
MAI, Moscow, Russia

The high bicarbonate content enhances localized corrosion by promoting stress corrosion cracking and pitting of carbon steel. Bicarbonate ions decrease the passive-active potential for ferric oxides, while increasing the passive-active transition potential for magnetite with increasing HCO₃⁻ concentration when the molar concentration exceeds 10⁻². The formation of a stable film can be achieved in the presence of a sufficient amount of bicarbonate [1].

Bicarbonate affects the polarization characteristics in a bicarbonate / chloride solution. For mild steel in 1 g/L and 5 g/L bicarbonate with a chloride concentration of 2 g/L under dynamic conditions, dissolution in the active and pre-passive regions is accelerated by the presence of bicarbonate ions due to the formation of a soluble complex anion Fe (CO₃)₂²⁻. The anodic polarization current is higher when using a 5 g/L bicarbonate solution at a corrosion potential of 600 mV. However, above this potential, dissolution decreases with increasing bicarbonate concentration [2].

The immersion time of mild steel in a bicarbonate / chloride solution at 0.8 g/t of dissolved oxygen under dynamic conditions (2000 rpm) at rotation speeds has a noticeable effect on the anodic and cathodic polarization current. However, the effect is more evident at corrosion potentials between (-250 and + 250mV) where the anode potential current decreases with immersion time.

Surface SEM results of samples immersed in 1 g/L and 5 g/L bicarbonate / chloride solutions at 2000 rpm show that pits with relatively small diameters of a few microns predominated in samples with low bicarbonate concentration. The density of the pits decreases in the sample exposed to a 5 g/L bicarbonate solution, but the pits become much larger both in depth and in width [3].

The depth of pitting increases with increasing bicarbonate concentration. A decrease in the amount of dissolved oxygen promotes passivation, while an increase in dissolved oxygen and HCO₃⁻ in bicarbonate / chloride leads to a significant increase in the process of cathodic oxygen reduction and dissolution of the anode metal due to oxidation. The immersion time has an important effect: the thickness of the oxide film increases and the corrosion rate decreases with increasing immersion time.

References:

1. King F., Toronto, Canada: 2007.
2. Linter B., Burshtein G. Corros: 1999.
3. Tan I.T., Wuijising S.L., Blackwood D.J. Corros: 2014- 152-160 p.

Покрyтия из высокоэнтропийных сплавов, напыленные магнетронным распылением

Жуковский П.Л.
МАИ, г. Москва, Россия

Развитие материаловедения как одного из наиболее важных направлений практической, а затем и научной деятельности человека, привело к появлению новой концепции, представляющей использование в качестве основных элементов сплавов сразу нескольких металлов. Эта концепция позволила создать новый класс металлических соединений – высокоэнтропийные сплавы, а также покрытия на их основе.

Высокоэнтропийные сплавы включают в себя не менее пяти основных элементов, концентрация которых варьируется от 5 до 35 ат.%. Особенность таких сплавов заключается в преимущественном формировании неупорядоченных твердых растворов, стабилизация

которых обеспечивается высокой энтропией смешения. Это позволяет высокоэнтропийным сплавам, а также покрытиям на их основе сочетать в себе уникальные физико-механических характеристики.

В работе проведен обзор механизмов формирования структуры и физико-механических свойств высокоэнтропийных сплавов. Показано что в большинстве случаев такие сплавы представляет собой однофазный твердый раствор с ОЦК- или ГЦК-решеткой. Выявлены доминирующие факторы в образовании нанокompозитной или аморфной структуры.

Также рассмотрены основные методы получения покрытий на основе высокоэнтропийных сплавов. Наиболее изученным и перспективным из них является магнетронное распыление. Изучены закономерности формирования структуры покрытия в зависимости от температуры и потенциала смещения подложки, а также скорости потока реакционного газа.

Свойства, демонстрируемые высокоэнтропийными сплавами и покрытиями на их основе, а также стремительное увеличение числа работ в этой быстроразвивающейся области, дают все основания предполагать, что исследования высокоэнтропийных сплавов будут развиваться и будут получены новые сплавы с хорошими физико-механическими свойствами для широкого круга критических применений.

High-entropy alloy coatings sputtered by magnetron sputtering

Zhukovsky P.L.

MAI, Moscow, Russia

The development of materials science as one of the most important areas of practical and then scientific human activity led to the emergence of a new concept representing the use of several metals as the main elements of alloys. This concept made it possible to create a new class of metal compounds – high-entropy alloys, as well as coatings based on them.

High-entropy alloys include at least five basic elements, the concentration of which varies from 5 to 35 at.%. A feature of such alloys is the predominant formation of disordered solid solutions, the stabilization of which is provided by a high entropy of mixing. This allows high-entropy alloys, as well as coatings based on them, to combine unique physical and mechanical characteristics.

In this work, a review of the mechanisms of formation of the structure and physical and mechanical properties of high-entropy alloys is carried out. It is shown that in most cases such alloys are a single-phase solid solution with a bcc or fcc lattice. The dominant factors in the formation of a nanocomposite or amorphous structure have been revealed.

The main methods of obtaining coatings based on high-entropy alloys are also considered. The most studied and promising of them is magnetron sputtering. The regularities of the formation of the coating structure are studied depending on the temperature and bias potential of the substrate, as well as the flow rate of the reaction gas.

The properties demonstrated by high-entropy alloys and coatings based on them, as well as the rapid increase in the number of works in this rapidly developing area, give every reason to assume that research on high-entropy alloys will develop and new alloys with good physicomechanical properties for a wide range of critical applications will be obtained.

Новый способ производства деталей типа «сегмент шпангоута»

Захарова Т.И., Галкин В.И., Батталов Т.Х., Табунов В.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Деталь типа «сегмент шпангоута» относится к ответственным силовым элементам авиационной техники. Шпангоут имеет сложную геометрию и изготавливается из высокопрочных алюминиевых сплавов. Для обеспечения высоких эксплуатационных свойств готовых изделий в технологическом процессе необходимо применение упрочняющей термообработки. В связи с этим разработка и реализация процесса производства деталей типа «сегмент шпангоута» является сложной технической задачей

В настоящее время существует несколько способов изготовления деталей типа «сегмент шпангоута». Наиболее распространенным является метод обработки резаньем на высокопроизводительных станках с ЧПУ. Заготовка при рассматриваемом методе вырезается из горячекатаной и термоупрочненной плиты. К достоинствам метода относится

высокая точность геометрических размеров получаемых изделий. Его недостатками являются низкий КИМ, снижение механических характеристик изделия вследствие нарушения деформированной структуры материала заготовки.

Среди методов обработки металлов давлением для получения детали типа «сегмент шпангоута» возможно применение высокоточной изотермической штамповки. Наиболее рационально использовать в качестве заготовки прямолинейный прессованный профиль, а изотермическую штамповку применять для доштамповки и изгиба заготовки. Температурно-скоростные параметры процесса позволяют вести деформацию в условиях максимальной пластичности материала заготовки, не приводящей к деформационному перегреву поковки. Однако применение вышеописанной схемы производства имеет ряд недостатков: большая трудоемкость изготовления, высокая стоимость штамповой оснастки, низкая производительность процесса.

В соответствии с этим наиболее эффективным способом производства гнutoго полуфабриката для изготовления детали типа «сегмент шпангоута» является гибка на трехвалковой машине заготовки из прессованного профиля. Основная проблема при реализации данного способа заключается в сохранении профиля в процессе гибки от потери устойчивости. Для борьбы с этим нами предложен новый способ гибки профилей с технологическим подпором. Подпор представляет собой набор тонких стальных полос, ширина которых незначительно превышает ширину полки профиля, а его длина больше длины шпангоута на 15-20 см. Подобная конструкция технологического подпора позволяет провести деформацию, при которой материал профиля воспринимает пластическую деформацию, а пластины деформируются в упругой области. На новый способ получен патент РФ №2691478 за 2018г.

A new method for the production of "frame segment" parts

Zaharova T.I., Galkin V.I., Battalov T.Kh., Tabunov V.S.

MAI, Moscow, Russia

The "frame segment" type part refers to the elements of the responsible force of aircraft engineering. The frame has a complex geometry and is made of high-strength aluminum alloys. To ensure high performance properties of finished products in the technological process, it is necessary to use hardening heat treatment. Manufacturing parts of the "frame segment" type is a complex technical challenge.

Currently, there are several methods of making carcass segment parts. The most common method is material removal on high-performance CNC machines. The workpiece by the considered method is cut from hot-rolled and heat-strengthened sheet. The advantages of the method include the high accuracy of the geometric dimensions of the resulting products. Its disadvantages are low efficiency, a decrease in the mechanical characteristics of the product due to the violation of the deformed structure of the workpiece material.

Among the methods of metal stamping by pressure to obtain a part of the "frame segment" type, it is possible to use high-precision isothermal stamping. It is most rational to use a rectilinear extruded profile as a workpiece, and isothermal stamping for additional stamping and bending of the workpiece. The temperature parameters of the process allow deformation under conditions of maximum plasticity of the workpiece material, which does not lead to deformation overheating of the forging. However, the use of the production scheme described above has a number of disadvantages: high labor intensity of manufacture, high cost of die tooling, low productivity of the process.

The most effective method for manufacturing a bent semi-finished product for manufacturing a part of the "frame segment" type is bending a blank from a pressed profile on a three-roll machine. The main problem in implementing this method is to keep the profile from warping during bending. To combat this, we have proposed a new method for bending profiles with a technological support. The support is a set of thin steel strips, the width of which slightly exceeds the width of the profile flange, and its length is 15-20 cm longer than the length of the frame. Such a design of the technological support allows deformation, in which the material of the profile perceives plastic

deformation, and the plates are deformed in the elastic region. The patent of the Russian Federation No. 2691478 for 2018 was obtained for the new method.

Влияние термической обработки на структуру и свойства образцов из титанового сплава Ti-6Al-4V после печати методом прямого лазерного сплавления металла

Иванов А.Е., Мельникова Д.Д., Сперанский К.А., Коломышев К.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Титановые сплавы являются труднообрабатываемыми материалами, поэтому использование 3D-печати для производства деталей является перспективной задачей.

Одним из наиболее распространенных методов для получения деталей сложной формы является метод 3D-прототипирования прямое лазерное сплавление металла (DMLS/DMLM). Структура образцов после печати представлена α' мартенситом, что негативно сказывается на механических и эксплуатационных свойствах изделия. Для повышения уровня свойств требуется последующая термическая обработка. Поэтому исследование структуры и свойств, полученных методом DMLS/DMLM с последующей термической обработкой является актуальной задачей.

Чаще всего отжиг образцов из титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных 3D-печатью, проводят в интервале температур от 800° до 850°С при времени выдержки от 4 до 1 часа. Поэтому для исследований была выбрана средняя температура 820°С. Отжиг проводили в вакууме в течении 2-х часов. Отжиг проводился в (α + β)-области, поэтому размер исходного β -зерна не изменился. Изменилась внутриверенная структура, которая после термической обработки представлена α -фазой, наследующей от мартенсита пластинчатую морфологию, и небольшим количеством β -фаз. Твёрдость образцов, измеренная в двух направлениях, после отжига снизилась на 2-4 ед. HRC. Проведённые механические испытания показали равные значения прочности и пластичности у образцов полученных на двух разных принтерах, и на втором уступают по относительному сужению на 13% и ударной вязкости на 25%, однако механические свойства образцов находятся на высоком уровне на уровне со свойствами образцов из деформированного полуфабриката ВТ6, полученного по традиционной технологии. На заключительном этапе проводились испытание на усталостную прочность при напряжении 400Мпа. Несмотря на пластинчатую морфологию α -фазы практически все образцы выстояли 1000000 циклов и были сняты без разрушения.

Influence of heat treatment on the structure and properties of samples made of titanium alloy Ti-6Al-4V after printing by direct laser metal alloying

Ivanov A.E., Melnikova D.D., Speransky K.A., Kolomytsev K.A.

MAI, Moscow, Russia

Titanium alloys are difficult to machine materials, so using 3D printing to manufacture parts is a promising challenge.

One of the most common methods for producing complex parts is the 3D prototyping method, direct laser metal alloying (DMLS/DMLM). The structure of the samples after printing is represented by α' martensite, which negatively affects the mechanical and operational properties of the product. To increase the level of properties, subsequent heat treatment is required. Therefore, the study of the structure and properties obtained by the DMLS/DMLM method with subsequent heat treatment is an urgent task.

Most often, the annealing of samples from the titanium alloy Ti-6Al-4V obtained by 3D printing is carried out in the temperature range from 800° to 850°С with a holding time from 4 to 1 hour. Therefore, an average temperature of 820°С was chosen for the research. Annealing was carried out in vacuum for 2 hours. Annealing was carried out in the (α + β)-region; therefore, the size of the initial β -grain did not change. The intragranular structure has changed, which after heat treatment is represented by the α -phase, which inherits lamellar morphology from martensite, and a small amount of β -phases. The hardness of the samples, measured in two directions, after annealing decreased by 2-4 units. HRC. The mechanical tests carried out showed equal values of strength and plasticity for samples obtained on two different printers, and on the second they are inferior in relative constriction by 13% and impact toughness by 25%, however, the mechanical properties of

the samples are at a high level on par with the properties of samples from a deformed semi-finished product VT6, obtained using traditional technology. At the final stage, a fatigue strength test was carried out at a stress of 400 MPa. In spite of the lamellar morphology of the α -phase, almost all samples withstood 1,000,000 cycles and were removed without destruction.

Микроскопические эффекты при воздействии мощного ультрафиолетового лазерного импульса на поверхность сплава Cu-Zr

¹Каплунов И.А., ²Роголин В.Е., ²Малинский Т.В., ²Миколуцкий С.И., ²Хомич Ю.В.

¹ТвГУ, г. Тверь, Россия

²ИЭЭ РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Взаимодействие наносекундного импульса лазерного излучения (ЛИ) с различными материалами исследовалось очень подробно. Во многом это связано с использованием во многих областях наиболее распространенного твердотельного лазера на кристалле граната, легированного редкоземельными элементами, излучающего в режиме модулированной добротности импульсы длительностью порядка 10-20 ns при длине волны $\lambda \sim 1.06 \mu\text{m}$.

Однако основное внимание исследователей уделялось изучению лазерной плазмы, возникающей при взаимодействии излучения с поверхностью твердого тела, а также процессам в материале, происходящим в результате вторичного влияния плазменного факела на мишень.

В данной работе сообщается о микроскопических допороговых эффектах, наблюдавшихся в результате воздействия УФ лазерного импульса ($\lambda=0.355 \mu\text{m}$) длительностью $\tau=10 \text{ ns}$ на сплав Cu-Zr.

Для воздействия был использован импульсно-периодический NdYag лазер на третьей гармонике. Энергия в импульсе достигала 8 мДж, а их частота – $f=10 \text{ Hz}$.

Установлено, что доабляционные микроскопические эффекты в сплаве Cu-Zr, возникающие в результате воздействия импульса наносекундного УФ лазера при плотностях энергии $E \sim 0.2\text{-}1 \text{ J/cm}^2$, скорее всего, имеют преимущественно тепловую природу. Профиль поверхности образца в облученной зоне соответствует распределению энергии в луче лазера. Возникли значительные искажения кристаллической структуры поверхностного слоя, и создалась необратимая конфигурация поверхности металла.

При энергиях $\geq 1 \text{ J/cm}^2$ наблюдался оптический пробой с образованием плазменного факела. Возникшая эрозия поверхности препятствовала регистрации эффекта поднятия поверхности. Микрoанализ показал, что концентрация циркония в поверхностном слое металла после воздействия уменьшилась.

Работа выполнена с использованием ресурсов Центра коллективного пользования Тверского государственного университета и межкафедральной учебно-испытательной лаборатории полупроводниковых материалов и диэлектриков ИИМЗ «Монокристаллы и заготовки на их основе» НИТУ МИСиС в рамках государственного задания по научной деятельности (№ 0057-2019-0005, № 0817-2020-0007).

Microscopic effects at the exposure of powerful UV laser pulse on the surface of a Cu-Zr alloy

¹Kaplunov I.A., ²Rogalin V.E., ²Malinskiy T.V., ²Mikolutskiy S.I., ²Khomich Yu.V.

¹TvSU, Tver, Russia

²IEE RAS, Saint-Petersburg, Russia

The interaction of a nanosecond pulse of laser radiation (LR) with various materials has been studied in great detail. This is largely due to the use of the most common solid-state laser on a garnet crystal doped with rare earth elements. It is emitting pulses with a duration of the order of 10-20 ns at a wavelength of $\lambda \sim 1.06 \mu\text{m}$ in the modulated Q-switched mode.

However, the main attention of the researchers was on the study of laser plasma arising from the interaction of radiation with the solid surface, as well as on the processes in the material occurring due to the secondary influence of the plasma torch on the target.

In this paper, we report on microscopic subthreshold effects observed as a result of exposure to a UV ($\lambda = 0.355 \mu\text{m}$) laser pulse with duration $\tau=10$ ns on a Cu-Zr alloy.

A pulsed periodic NdYAG laser at the third harmonic was used for exposure. The pulse energy reached 8 mJ at a repetition rate of $f=10$ Hz.

Thus, it was found that the pre-ablation microscopic effects in the Cu-Zr alloy, arising as a result of the action of a nanosecond UV laser pulses with energy densities of $E \sim 0.2\text{-}1$ J/cm² most likely have a predominantly thermal nature. The surface profile of the sample in the irradiated zone corresponds to the distribution of the energy in the laser beam. Significant distortions occurred in the crystal structure of the surface layer, and an irreversible configuration of the metal surface was created.

At $E \geq 1$ J/cm² an optical damage with the formation of a plasma torch was observed. The resulting surface erosion prevented the registration of the effect of surface lifting. Microanalysis showed that the concentration of zirconium in the surface layer after exposure decreased.

This work was carried out using the resources of the Center for Collective Use of Tver State University and interdepartmental educational and testing laboratory of semiconductor materials and dielectrics ILMZ "Single crystals and blanks based on them" NITU MISiS in the framework of the state assignment for scientific activity (№ 0057-2019-0005, № 0817-2020-0007).

Разработка технологических основ изготовления керамических карбонитридокремниевых волокон на базе отечественного производства для создания нового поколения композиционных материалов

Князев К.А., Тимофеев П.А., Тимофеев А.Н.

АО «Композит», г. Королев, Россия

Для авиационной и ракетно-космической отрасли машиностроения на сегодняшний день актуальным является применение композиционных материалов в деталях сложной геометрии, устойчивых к воздействию температур до 1500 °С и обладающих высокими физико-механическими характеристиками. Особый интерес представляют композиционные материалы с металлическими или керамической матрицами, армированные высокотемпературными наполнителями: керамическими SiC и SiCN-волокнами. Достойной альтернативой SiC – волокнам являются материалы на основе карбонитрида кремния: прочность на растяжение – до 2,7 ГПа, модуль упругости – до 200 ГПа, окислительная стойкость до 1500 °С. Помимо этого, их производство предполагает значительное снижение затрат благодаря относительно недорогому сырью, и некоторому упрощению технологии их изготовления [2,3]. Отечественные разработки в области керамических SiCN волокон отсутствуют. В связи с этим актуальным является разработка технологии и создание производств изготовления SiCN-волокон с использованием сырья и оборудования отечественного производства. Разработанная и применяемая в АО «Композит» технология изготовления керамических SiCN-волокон предполагает четыре стадии: синтез исходного прекурсора, формование полимерных волокон, отверждение (сшивка) полимерных волокон, высокотемпературная обработка отвержденных полимерных нитей. В качестве прекурсора использовался кремнийорганический полисилазан отечественного производства, разработанный в сотрудничестве с АО «ГНИИХТЭОС». Для проведения экспериментальных работ по получению керамических карбонитридокремниевых волокон была спроектирована и изготовлена установка формования волокон из расплава. Отработаны режимы стабильного безобрывного формования полимерных волокон из полисилазанов, определены зависимости прочностных характеристик SiCN-волокон от параметров процесса формования. Смоделирован процесс отверждения полимерных волокон на воздухе. Рассмотрены достоинства и недостатки данного метода. Отмечено влияние кислорода при высоких температурах на прочностные свойства нити. Представлены результаты высокотемпературной обработки при различных температурах. По отработанным режимам были изготовлены образцы керамических SiCN-волокон. Результаты испытаний изготовленных образцов: прочность на разрыв 1,2 – 1,5 ГПа, при среднем диаметре волокна 12 мкм. Элементный состав: Si – 28 %, C – 34 %, N- 23%, O – 15 %. В заключении

обозначены направления дальнейших работ в области совершенствования керамических SiCN волокон.

Development of technological foundations for the manufacture of ceramic silicon carbonitride fibers on the basis of domestic production to create a new generation of composite materials

Knyazev K.A., Timofeev P.A., Timofeev A.N.
Kompozit, Korolev, Russia

For the aviation and rocket and space engineering industry, today it is relevant to use composite materials in parts of complex geometry that are resistant to temperatures up to 1500 ° C and have high physical and mechanical

characteristics. Composite materials with metal or ceramic matrices reinforced with high-temperature fillers: ceramic SiC and SiCN fibers are of particular interest. Materials based on silicon carbonitride are a worthy alternative to SiC fibers: tensile strength - up to 2.7 GPa, elastic modulus - up to 200 GPa, oxidation resistance up to 1500 ° C. In addition, their production involves a significant reduction in costs due to relatively inexpensive raw materials, and some simplification of their manufacturing technology [2,3]. There are no domestic developments in the field of ceramic SiCN fibers. In this regard, the development of technology and creation of production facilities for the production of SiCN fibers using raw materials and equipment of domestic production is relevant. The technology for the manufacture of ceramic SiCN fibers developed and used at JSC "Kompozit" involves four stages: synthesis of the initial precursor, spinning of polymer fibers, curing (cross-linking) of polymer fibers, high-temperature treatment of cured polymer filaments. As a precursor, we used domestically produced silicon-organic polysilazane, developed in cooperation with JSC GNIKHTEOS. To carry out experimental work on the production of ceramic silicon carbonitride fibers, an installation for forming fibers from a melt was designed and manufactured. The modes of stable continuous spinning of polymer fibers from polysilazanes have been worked out, the dependences of the strength characteristics of SiCN fibers on the parameters of the spinning process have been determined.

The process of curing polymer fibers in air has been modeled. The advantages and disadvantages of this method are considered. The effect of oxygen at high temperatures on the strength properties of the thread is noted. The results of high-temperature treatment at various temperatures are presented. Specimens of ceramic SiCN fibers were prepared according to the worked out conditions. Test results of manufactured samples: tensile strength 1.2 - 1.5 GPa, with an average fiber diameter of 12 microns. Elemental composition: Si - 28%, C - 34%, N - 23%, O - 15%. In conclusion, the directions of further work in the field of improving ceramic SiCN fibers are indicated.

Обеспечение точности изготовления крупногабаритных мастер-моделей из модельного пластика, состоящих из нескольких стыкуемых друг с другом элементов

Кованов А.Е., Мамонов А.В., Шишканов Н.В., Ирошников А.И.

ОНИИП «Технология», г. Обнинск, Россия

Производственный процесс изготовления деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) невозможен без технологической оснастки для формования изделий. В особенности при изготовлении крупногабаритных изделий из ПКМ применение традиционных металлических оснасток становится нерентабельным вследствие высокой трудоёмкости изготовления (механической обработки), большой конечной массы такой формы, энергоёмкости прогрева оснастки в процессе формования изделий. Для устранения этих проблем все чаще используются оснастки из ПКМ, состоящие из формообразующей (рабочая поверхность оснастки) и каркаса (обеспечивающего жесткость формообразующей при эксплуатации).

В авиационной и аэрокосмической отрасли к деталям предъявляются повышенные требования к массе, точности и жесткости изделия, что в свою очередь приводит к снижению количества деталей (за счет увеличения габаритов), уменьшению разности КЛТР

между деталями и формообразующей, а также устойчивости материала оснастки к воздействию температур формования.

Самым распространенным способом обеспечения точности, в особенности для изделий сложной геометрической формы, является использование мастер-модели, полностью повторяющей форму изделия.

В работе рассматриваются задачи проектирования и изготовления составных крупногабаритных (площадью более 40 м²) мастер-моделей из модельного пластика, обеспечивающие основные эксплуатационные характеристики – точность формы, герметичность, жёсткость оснастки, ограничения по массе (как заготовок, так и готовых изделий).

Представлен анализ конструктивно-технологических приемов изготовления составных частей крупногабаритных мастер-моделей. Исследован процесс сборки, способ обеспечения герметичности. Показаны особенности методов контроля геометрии формообразующей поверхности: как отдельных составных частей мастер-модели, так и общей мастер-модели после сборки. Исследованы конструктивно-технологические методы снижения массы конечной мастер-модели. Поставлены задачи для дальнейших исследований в области проектирования заготовок крупногабаритных мастер-моделей с целью минимизации расхода материалов, режущего инструмента и машинного времени обработки на станках с ЧПУ.

Ensuring the accuracy of manufacturing large-sized master-models made of model plastic, consisting of several elements that fit together

Kovanov A.E., Mamonov A.V., Shishkanov N.V., Iroshnikov A.I.

ORPE “Technologiya”, Obninsk, Russia

The production process of manufacturing parts from polymer composite materials (PCM) is impossible without technological moulding tools. In particular, when manufacturing large-sized products from PCM, the use of traditional metal moulding tools becomes unprofitable due to the high labor intensity of manufacturing (mechanical processing), the large final weight, and the energy intensity of heating during the product forming process. To solve these problems, PCM moulding tools are increasingly used.

In the aviation and aerospace industries, parts are subject to increased requirements for weight, accuracy and rigidity, which leads to a decrease in the number of parts (due to increased dimensions), a decrease in the difference between the thermal linear expansion factor (TLEF) of the parts and the moulding tools, as well as the stability of the moulding tool material to the influence of molding temperatures.

The most common way to ensure accuracy, especially for products with complex geometric shapes, is to use a master-model that completely repeats the shape of the product.

The paper considers the problems of designing and manufacturing composite large-sized (with an area of more than 40 м²) master-models made of model plastic, providing the main operational characteristics – shape accuracy, tightness, rigidity, weight restrictions.

The analysis of methods of manufacturing components of large-sized master-models is presented. The Assembly process and the method of ensuring tightness are investigated. Features of methods for controlling the geometry of the forming surface are shown: both individual components of the master-model and the General master-model after Assembly. Structural and technological methods for reducing the weight of the final master model are investigated. Tasks are set for further research in the field of designing large-size master-model workpieces in order to minimize the consumption of materials, cutting tools and machine processing time on CNC machines.

Пути исследования влияния толщины клеевого слоя на прочностные показатели клеевых соединений

Костин В.А., Насонов Ф.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из приоритетных задач при проектировании авиационной техники является снижение массы летательных аппаратов. Клеевые соединения элементов авиационных конструкций имеют неоспоримое преимущество в весовом отношении перед механическими

соединениями. Для клеевых соединений прочность и долговечность в значительной степени зависят от толщины клеевого слоя. Поэтому целью данной работы является исследование влияния толщины клеевого слоя на несущую способность и ресурс соединений из конструкционных углепластиков, применяемых в авиационной промышленности.

Широкое применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в различных отраслях промышленности стало возможным вследствие присущего им комплекса конструктивных и специальных свойств, недостижимых в традиционных металлических материалах. Особенности композитов и специфика эксплуатации авиатехники предъявляют повышенные требования к прочности и долговечности клеевых соединений. Эффективная замена крепежных деталей клеевыми соединениями может быть достигнута только в том случае, если уровни прочности, долговечности и эксплуатационной живучести не ниже тех же свойств механических соединений.

Основными проблемами, стоящими на пути эффективного внедрения высокопрочных клеевых соединений, являются:

1. Предъявляются требования к обеспечению прочности и долговечности клеевых соединений, эксплуатационным характеристикам и долговечности клеевых соединений к факторам внешней среды.
2. Необходимость комплексной технологической подготовки склеиваемых поверхностей соединяемых узлов.
3. Очевидна деградация свойств клеевых композиций в случае нарушений или даже незначительных отклонений в технологических процессах склеивания деталей.
4. Необходимость обеспечения неразрушающего контроля адгезионно скрепленных соединений в различных конструктивных вариантах.

Methods of research the influence of the thickness of the adhesive layer on the strength of adhesive joints

Kostin V.A., Nasonov F.A.
MAI, Moscow, Russia

One of the priority tasks in the design of aviation equipment is to reduce the weight of aircraft. Adhesive joints of elements of aircraft structures have an undeniable weight advantage over mechanical joints. For adhesive joints, the strength and durability largely depend on the thickness of the adhesive layer. Therefore, the purpose of this work is to study the effect of the thickness of the adhesive layer on the load-bearing capacity and resource of structural carbon fiber joints used in the aircraft industry.

For adhesive joints, the strength and durability largely depend on the thickness of the adhesive layer. Therefore, the purpose of this work is to study the effect of the thickness of the adhesive layer on the load-bearing capacity and resource of structural carbon fiber joints used in the aircraft industry.

The main problems that stand in the way of effective implementation of high-strength adhesive joints are:

1. There are requirements to ensure the strength and durability of adhesive joints, performance characteristics and durability of adhesive joints to environmental factors.
2. The necessity for complex technological preparation of the glued surfaces of the connected nodes.
3. Obvious degradation of the properties of adhesive compositions in the event of violations or even minor deviations in the technological processes of gluing parts.
4. The necessity to ensure non-destructive testing of the adhesion of bonded joints in various design options.

For adhesive joints, it is characteristic that static strength, strength and durability under repeated static loads largely depend on the thickness of the adhesive layer. Therefore, the purpose of this work is to study the effect of the thickness of the adhesive layer on the load-bearing capacity and resource of structural carbon fiber joints used in the aircraft industry, as well as to reduce the

specific weight of mechanical fasteners for aircraft components due to the widespread introduction of high-strength adhesive joints.

Перспективные конструкционные материалы в гидравлических системах управления и силовых приводах летательных аппаратов

Котов В.В., Пузанов А.В., Косорукова О.В., Пронин С.Р.
КГТА, г. Ковров, Россия

Актуальной проблемой современного приводостроения, в том числе для нужд авиационной техники, в настоящее время является повышения мощности привода – путем их форсирования по силовым или скоростным характеристикам, что позволяет улучшать эксплуатационные характеристики и расширять сферы применения техники на основе гидроприводов.

Для гидроприводостроения, одним из направлений развития базиса конструкционных материалов стало применение в гидравлических компонентах деталей, выполненных из технической керамики, а конкретно – лейкосапфира.

По мнению авторов, наиболее подходящим методом формирования лейкосапфира для нужд гидроприводостроения является метод Киропулоса. Данное предположение было проанализировано на виртуальных моделях, реализовано в опытных образцах и подтверждено экспериментальными исследованиями. В частности, для насосов-дозаторов отдельные детали (плунжеры) из лейкосапфира уже успешно используются. В настоящее время проводится серия натурных испытания авиационных гидромашин с лейкосапфировыми плунжерами.

Низкие коэффициенты трения и теплового расширения позволяют повысить до 100% объемный КПД, существенно снизить механический КПД и тепловыделение гидравлических устройств, что приведет к снижению их массогабаритных показателей, увеличению удельной мощности. Это приведет к увеличению востребованности подобных устройств для гидроприводов авиационной и ракетно-космической техники.

Перспективы (пределы) использования лейкосапфиров в качестве конструкционного материала трибопар силовой гидравлики нуждаются в более глубоких исследованиях. Применяемость этого материала требует необходимости нормирования ударных и высоко динамических воздействий для сопряженных узлов, либо применения триплексных технологий.

Innovative materials in hydraulic control systems and power drives of aircraft

Kotov V.V., Puzanov A.V., Kosorukova O.V., Pronin S.R.
KSTA, Kovrov, Russia

An urgent problem of modern drive engineering, including for the needs of aviation equipment, is currently increasing the drive power – by forcing them in terms of power or speed characteristics, which allows improving performance characteristics and expanding the scope of equipment based on hydraulic drives.

For hydraulic drive engineering, one of the directions of development of the basis of materials has become the use of parts made of technical ceramics – leucosapphire in hydraulic components.

According to the authors, the most suitable method for the formation of leucosapphire for the needs of hydraulic drive engineering is the Kyropoulos method. This assumption was analyzed on virtual models, implemented in prototypes and confirmed by experimental studies. In particular, for metering pumps, individual parts (plungers) made of sapphire are already successfully used. A series of full-scale tests of aviation hydromachines with leucosapphire plungers is currently underway.

Low coefficients of friction and thermal expansion allow increasing volumetric efficiency, reducing mechanical efficiency and heat generation in hydraulic devices. This will reduce their weight and dimensions and increase their power density. This will lead to an increase in demand for devices for hydraulic drives of aircraft.

Prospects for the use of leucosapphire for power hydraulics tribopairs require deeper research. The applicability of this material requires the need to standardize shock and highly dynamic effects for mating units, the use of triplex technologies.

Исследование дисперсно-упрочненных композиционных материалов с разделенными фазами, полученных методом магнетронного напыления

Кубатина Е.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Формирование разделенного по фазе композиционного материала происходит с помощью магнетронного распыления. Этот способ позволяет избежать сплавообразования и/или образования соединений в наносимом покрытии, которое происходит при обычном совместном распылении, и, таким образом, формирует дисперсные композиты из совершенно новых классов материалов.

Возможное применение материалов с разделенными фазами ограничено тем фактом, что для предотвращения образования сплавов необходимо использовать несмешивающиеся материалы, которые не вступают в реакцию друг с другом и не образуют новых химических соединений. Это сильно ограничивает выбор материалов, которые можно использовать.

Компонентом сплошной пленки может быть любой материал, который можно распылять. Примеры возможных материалов для непрерывного фазового слоя включают алюминий, кремний, титан, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, медь, германий, иттрий, ниобий, молибден, барий, лантан-стронций-медь и иттрий-барий-медные высокотемпературные сверхпроводники, различные сплавы типа «пермаллой», неодим-железо-бор, соединения молибдена-кремния, диоксид кремния, оксид алюминия, нитрид алюминия, оксид железа. Также могут быть использованы многочисленные другие материалы.

Наноразмерные материалы с фазовым разделением обычно получают путем совместного распыления при давлении приблизительно 10-5 Па. При таких давлениях длина свободного пробега составляет приблизительно 5×10^{-2} метра. Следовательно, распыленные материалы достигают подложки, не подвергаясь многочисленным столкновениям, и образуются непосредственно в виде пленки на подложке.

При более высоком давлении, составляющем примерно 10-3 Па, длина свободного пробега распыленных частиц составляет всего лишь приблизительно 5×10^{-4} метра, а частота столкновений в газовой фазе значительно выше. Поэтому зародышеобразование и рост распыленных частиц с образованием частиц может происходить в паровой фазе до того, как выброшенные атомы из мишени попадут на поверхность подложки, на которой они осаждаются. Таким образом, распыленный материал осаждается на подложке в виде дискретных частиц, а не в виде непрерывной пленки.

Композитный материал любой желаемой толщины может быть создан путем попеременного повторения этапов дискретной фазы частиц и непрерывного осаждения в матричной фазе до тех пор, пока не будет достигнута желаемая толщина. Процесс осаждения может повторяться бесконечно, чтобы можно было получать композитные пленки толщиной несколько микрон.

Study of dispersion-hardened composite materials with separated phases obtained by magnetron sputtering

Kubatina E.P.

MAI, Moscow, Russia

The formation of the phase-separated composite material occurs using magnetron sputtering. This method avoids alloying and/or bonding in the applied coating that occurs with conventional co-spraying, and thus forms dispersed composites from entirely new material classes.

The possible use of phase-separated materials is limited by the fact that to prevent the formation of alloys, it is necessary to use immiscible materials that do not react with each other and do not form new chemical compounds. This severely limits the choice of materials that can be used.

The continuous film component can be any material that can be sprayed. Examples of possible materials for the continuous phase layer include aluminum, silicon, titanium, vanadium, chromium,

manganese, iron, cobalt, copper, germanium, yttrium, niobium, molybdenum, barium, lanthanum-strontium-copper, and yttrium-barium-copper high temperature superconductors. various alloys such as "permalloy", neodymium-iron-boron, molybdenum-silicon compounds, silicon dioxide, aluminum oxide, aluminum nitride, iron oxide. Numerous other materials can also be used.

Nanosized phase-separated materials are typically produced by co-sputtering at a pressure of about 10-5 Pa. At these pressures, the free path is approximately 5×10^{-2} meters. Consequently, the sprayed materials reach the substrate without being subject to multiple collisions and are formed directly as a film on the substrate.

At a higher pressure of about 10-3 Pa, the mean free path of the atomized particles is only about 5×10^{-4} meters, and the collision frequency in the gas phase is much higher. Therefore, the nucleation and growth of sputtered particles with the formation of particles can occur in the vapor phase before the ejected atoms from the target hit the surface of the substrate on which they are deposited. Thus, the sprayed material is deposited on the substrate as discrete particles rather than as a continuous film.

A composite material of any desired thickness can be created by alternately repeating the steps of the discrete phase of the particles and continuous deposition in the matrix phase until the desired thickness is reached. The deposition process can be repeated indefinitely so that composite films with a thickness of several microns can be obtained.

Исследование характеристик фотонных преобразователей оптической информации с целью применения в авиационных многофункциональных индикаторах

Кузнецов А.В., Жуков А.А., Пожидаев Е.П., Ткаченко Т.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Конструирование бортового радиоэлектронного оборудования в настоящее время невозможно представить без применения современных средств обеспечения визуализации символьной или иной графической информации. Фотонные технологии давно используются в летательных аппаратах, находя свое место в индикаторных элементах и прочих устройствах отображения информации, постепенно совершенствуясь и вытесняя аналоговые и электромеханические приборы. Современные требования к фотонным приборам в летательных аппаратах направлены,

увеличения контраста, цветового охвата и угла обзора изображения на устройствах визуализации информации. Существует проблема оптимизации технологии создания фотонных преобразователей оптической информации с большим углом обзора при одновременном улучшении быстродействия и снижением управляющего напряжения. Данную проблему можно решить путем перехода от нематических жидких кристаллов к смектическим, что заметно упростит процесс создания фотонных преобразователей, а также позволит упростить конструкцию и технологию изготовления фотонных устройств посредством перехода от использования встречно-штыревых электродов к сплошным.

Целью представленной работы является исследование возможности упрощения технологии изготовления фотонных преобразователей с большим углом обзора при одновременном улучшении быстродействия с снижением управляющего напряжения за счет перехода к смектическим жидким кристаллам и переходом от встречно-штыревых электродов, используемых в конструкции жидкокристаллической ячейки к сплошным электродам.

Объектами исследования в данной работе являются дисплейные ячейки на основе жидкокристаллических сегнетоэлектриков (ЖКС), разработанные в Лаборатории оптоэлектронных процессоров Физического института им. П.Н. Лебедева Российской Академии Наук. В результате проведенных исследований по существующим методикам были отобраны наиболее подходящие образцы ЖКС, обеспечивающие увеличение угла обзора изображения при одновременном упрощении технологии изготовления дисплейных ячеек. Задача исследования заключается в обеспечении возможности электрооптического переключения главной оптической оси спиральных наноструктур ЖКС параллельно

плоскостям подложек ячеек, аналогично решению, реализуемому в настоящее время в нематических жидких кристаллах по технологии IPS.

В результате исследований получены материаловедческие и физико-технологические решения для проектирования конструкции жидкокристаллических фотонных преобразователей с большим углом обзора.

Research of the characteristics of photonic converters of optical information for the purpose of application in aviation multifunctional displays

Kuznetsov A.V., Zhukov A.A., Pozhidaev E.P., Tkachenko T.P.

MAI, Moscow, Russia

The design of airborne radio-electronic equipment is impossible without the use of modern visualization tools for symbolic or other graphic information. Photonic technologies have long been used in aircraft, finding their place in indicator elements and other information display devices, gradually improving and replacing analog and electromechanical devices. Modern requirements for photonic devices in aircraft are aimed at increasing the contrast, color gamut and viewing angle of the image on information visualization devices.

There is a problem of optimizing the technology for creating photonic converters of optical information with a large viewing angle while improving the response speed and lowering the control voltage. This problem can be solved by switching from nematic liquid crystals to smectic ones, which will significantly simplify the process of creating photonic converters, and will also make it possible to simplify the design and manufacturing technology of photonic devices by switching from the use of interdigital electrodes to solid ones.

The aim of this presented work is researching possibility of simplifying the technology of manufacturing photonic converters with a large viewing angle while improving the response rate with a decrease in the control voltage due to the transition to smectic liquid crystals and the transition from interdigital electrodes used in the design of a liquid crystal cell to solid electrodes.

The objects of research in this work are display cells based on liquid crystal ferroelectrics (FLC), developed in the Laboratory of Optoelectronic Processors of The P.N. Lebedev Physical Institute, LPI. As a result of the studies carried out according to the existing methods, the most suitable samples of the FLCs were selected, providing an increase in the viewing angle of the image while simplifying the technology for manufacturing display cells.

The objective of the study is to provide the possibility of electro-optical switching of the main optical axis of spiral LC nanostructures parallel to the planes of cell substrates, similar to the solution currently implemented in nematic liquid crystals using IPS technology.

As a result of the research, material science and physical-technological solutions were obtained for designing the structure of liquid crystal photonic converters with a large viewing angle.

Проектирование вариативных технологических процессов сварки трением перемешиванием на основе электронного определения сложнопрофильного инструмента

Курицын Д.Н., Курицына В.В., Корешков А.В., Казанцев С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время возможность производства перспективных образцов техники определяется в том числе технологиями получения неразъемных соединений: технологиями сварки и пайки. Прогрессивным путем для соединения специальных конструкций из авиационных материалов является внедрение методов сварки в твердой фазе, к группе которых относится, в частности, сварка трением перемешиванием.

Проблемы внедрения в промышленных масштабах производственного технологического проектирования процессов сварки трением, инструментального оснащения и технологической оснастки заключаются в наличии широкой вариативности конструкционных материалов, пространственной геометрии, толщин свариваемых материалов; специфическими требованиями к работоспособности инструмента, профилированию его рабочей части, стойкости.

Основой электронного определения технологической системы процесса сварки трением перемешиванием являются разработка численных моделей вязкопластического течения материала и теплового баланса, неразрывности течения материала в рабочей зоне сварки трением с перемешиванием, определения оптимальных сочетаний технологических режимов операции, формы инструмента при установленных граничных условиях конфигурации и физико-механических свойствах свариваемых элементов при гарантированном достижении требуемого качества сварного шва.

В целях согласования неразрывного течения материала при перемешивании конструкция спиралевидных элементов пина непосредственно связана с такими параметрами технологической схемы движения инструмента как подача и угловая скорость инструмента. Определяющим в технологической схеме сварки трением перемешиванием является суперпозиция поступательного и вращательного движений инструмента. Наряду с кинематическими параметрами, связанными со спиральной геометрией пина, определяющим будет условие неразрывности потока при экструзии вязкой жидкости. Алгоритм проектирования предусматривает итерационную увязку всех компонентов технологического обеспечения, включая моделирование физико-механических явлений в рабочей зоне формирования соединения, создание оборудования и оснастки, технологий изготовления инструмента.

Разработка методики технологического проектирования процессов и инструментальных средств сварки трением перемешиванием на основе параметрической модели инструмента – цифрового аналога – позволяет сократить цикл технологической подготовки производства, расширить номенклатуру изделий и область применения технологии.

Design of variable technological processes of friction stir welding based on the «digital twin» of a complex-profile tool

Kuritsyn D.N., Kuritsyna V.V., Koreshkov A.V., Kazantsev S.A.
MAI, Moscow, Russia

At present, the possibility of producing promising equipment samples is determined, among other things, by technologies for obtaining permanent joints: welding and soldering technologies. A progressive way for joining special structures made of aviation materials is the introduction of solid phase welding methods, which include, in particular, friction stir welding.

The problems of industrial-scale implementation of industrial technological design of friction welding processes, tooling and technological equipment are in the presence of a wide variability of structural materials, spatial geometry, thicknesses of materials to be welded; specific requirements for the performance of the tool, profiling of its working part, durability.

The basis for the electronic determination of the technological system of the friction stir welding process is the development of numerical models of the viscoplastic material flow and heat balance, the continuity of the material flow in the working zone of friction stir welding, the determination of optimal combinations of technological modes of operation, the shape of the tool under the established boundary conditions of the configuration and physical and mechanical properties, elements to be welded with guaranteed achievement of the required quality of the welded seam.

In order to coordinate the continuous flow of the material during mixing, the design of the spiral pin elements is directly related to such parameters of the technological scheme of the tool movement as the feed and angular velocity of the tool. The determining factor in the technological scheme of friction stir welding is the superposition of translational and rotational tool movements. Along with the kinematic parameters associated with the spiral geometry of the pin, the condition for the continuity of the flow during the extrusion of a viscous liquid will be the determining factor. The design algorithm provides for iterative coordination of all the components of technological support, including the modeling of physical and mechanical phenomena in the working area of the joint formation, the creation of equipment and tooling, and tool manufacturing technologies.

The development of a methodology for technological design of processes and tools for friction stir welding based on a parametric model of a tool – a digital analogue – allows to shorten the cycle

of technological preparation of production, expand the range of products and the scope of technology.

Технологический аудит инструментального производства с применением анализа Парето и причинно-следственных диаграмм

Курицына В.В., Курицын Д.Н., Пачина А.В., Толстухин Д.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Инструментальное производство в области технологий механической обработки авиационных материалов занимает особое место в производственной цепочке изготовления современных образцов авиационной и ракетно-космической техники. Так в авиационном и ракетно-космическом двигателестроении применение труднообрабатываемых жаропрочных и жаростойких материалов и сложного формообразования деталей диктует необходимость принятия решений организационных технико-экономических задач инструментального обеспечения, его модернизации.

Методы статистического регулирования являются эффективным инструментом технологического аудита производственных процессов и технологических систем. В данном случае комбинация графических возможностей причинно-следственных диаграмм (диаграмма Ишикавы, или англ. «Fishbone Diagram») и аналитических заключений анализа Парето позволяют определить точки приложения управляющих воздействий технологической подготовки производства с максимальным эффектом.

В стиле диаграммы Ишикавы типа 6М рассмотрены такие классы причин, влияющих на экономическую эффективность инструментального производства, как «персонал (Men)», «оборудование (Machines)», «материалы (Materials)», «методы (Methods)», «контроль (Measurements)», «среда (Media)», с детализацией каждой области. Анализ Парето ранжирует данные области по значимости, важности, количеству и объему последствий, в качестве которых выступают финансовые, технические, технологические, научные, коммерческие показатели инструментального обеспечения. Классификация анализируемых факторов-причин идет путем сортировки по убыванию объединения их по группам суммарного вклада в последствия А (75%), В (20%), С (5%, все остальные факторы). Неравноценность компонентов в группах обуславливает различный подход к рациональной организации корректирующих действий. Предупредительные мероприятия должны быть направлены на решение проблем группы А, как области первоочередных мер.

При своей достаточной простоте данные инструменты, примененные в качестве процедур технологического аудита, сохраняют связь со статистическими данными, имеют наглядную интерпретацию, обладают высокой оперативностью, допускают коллективную работу экспертных групп с оценкой точности, достоверности и согласованности принятых решений и рекомендаций.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-944.2020.8.

Technological audit of tool production using Pareto analysis and Cause-Effect Diagrams

Kuritsyna V.V., Kuritsyn D.N., Pachina A.V., Tolstikhin D.S.
MAI, Moscow, Russia

Tool production in the field of technologies for mechanical processing of aviation materials occupies a special place in the production chain of manufacturing modern samples of aviation and rocket and space technology. So in aviation and rocket and space engine building, the use of difficult-to-machine heat-resistant and heat-resistant materials and complex shaping of parts dictates the need to make decisions on organizational technical and economic problems of instrumental support: determining the required range of special and universal tools; decisions on the purchase of tools or on the organization of their own production.

Statistical regulation methods are an effective tool for technological audit of production processes and technological systems. In this case, a combination of graphical capabilities of cause-effect diagrams (Ishikawa diagram, or "Fishbone Diagram") and analytical conclusions of Pareto

analysis allow to determine the points of application of the control actions of technological preparation of production with the maximum effect.

In the style of the Ishikawa diagram of type 6M, such classes of reasons that affect the economic efficiency of tool production are considered, such as «Men», «Machines», «Materials», «Methods», «Measurements», «Media». Pareto analysis ranks these areas in terms of significance, importance, quantity and volume of consequences, which are financial, technical, technological, scientific, commercial indicators of instrumental support. The classification of the analyzed factors-causes is carried out by sorting in descending order, combining them into groups of the total contribution to the consequences A (75%), B (20%), C (5%, all other factors). The unequal value of the components in the groups causes a different approach to the rational organization of corrective actions. Preventive measures should be aimed at solving problems of group A as an area of priority action.

With their sufficient simplicity, these tools, used as technological audit procedures, retain a connection with statistical data, have a visual interpretation, have high efficiency, allow the collective work of expert groups with an assessment of the accuracy, reliability and consistency of decisions and recommendations.

This work was supported by a grant from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists - candidates of sciences MK-944.2020.8.

LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) технологии для аппаратуры космического назначения

Лобанов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

На протяжении нескольких лет в различных отраслях промышленности используется технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (Low Temperature Co-fired Ceramic). Усовершенствование таких материалов привело к снижению стоимости и улучшению характеристик электронных изделий, что позволило увеличить рост интереса к этой технологии со стороны производителей высокочастотной техники, оптоэлектроники и микро-электро-механических систем. В результате ее широкого использования открываются новые возможности для производства электронных изделий в таких направлениях как телекоммуникации, медицина, автомобильная, военная и космическая техника. LTCC технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики, применение которой позволяет в значительной мере увеличивать надежность и обеспечивать качественно высокие эксплуатационные характеристики аппаратуры космического назначения. LTCC технология широко применяются в создании многослойных плат для высокочастотных электронных приборов, корпусов микросхем и выступает в качестве альтернативы многослойным печатным платам из текстолита и высокотемпературной керамики при предъявлении к ним ряда специальных требований.

Для производства многослойных печатных плат являлись органические материалы с низкой диэлектрической постоянной керамика с высокими ее значениями. Увеличение рабочих частот электронных приборов требовало создания нового материала, который позволил бы легко изготавливать многослойные печатные платы и имел на высоких частотах схожие с керамикой характеристики. Такой материал получил название "низкотемпературная совместно обжигаемая керамика". Многослойные керамические платы первоначально изготавливались из оксида алюминия. Материал обжигался при температурах $\geq 1500^{\circ}\text{C}$, поэтому слою металлизации выполнялись только из тугоплавких металлов вольфрама и молибдена, что вносило ряд недостатков в функциональные возможности приборов, в усовершенствование технологии и снижение себестоимости производства. Дальнейшее развитие многослойной керамика получила с внедрением технологии LTCC, когда материал начали смешивать со специальными стеклами. Температура обжига керамики снизилась до 850°C , что обеспечило упрощение производственного процесса.

К основным достоинствам LTCC-технологии относятся: хорошие электрические показатели, их стабильность, возможность 3D интеграции, герметичность, возможность высокотемпературной пайки, хорошая теплопроводность, низкий КТР.

LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) technologies for space equipment

Lobanov A.A.

MAI, Moscow, Russia

The Low Temperature Co-fired Ceramic technology has been used in various industries for several years. Improvements in such materials have led to lower costs and improved performance of electronic products, which has led to increased interest in this technology from manufacturers of high-frequency technology, optoelectronics and micro-electromechanical systems. As a result of its widespread use, new opportunities are opening up for the production of electronic products in such areas as telecommunications, medicine, automotive, military and space technology. LTCC is a low-temperature co-fired ceramic technology, the use of which can significantly increase the reliability and provide high-quality performance characteristics of space equipment. LTCC technology is widely used in the creation of multilayer boards for high-frequency electronic devices, microcircuit cases and acts as an alternative to multilayer printed circuit boards made of PCB and high-temperature ceramics when a number of special requirements are imposed on them.

For the production of multilayer printed circuit boards, organic materials with a low dielectric constant were used, ceramics with high values. The increase in the operating frequencies of electronic devices required the creation of a new material that would make it easy to manufacture multilayer printed circuit boards and have characteristics similar to those of ceramics at high frequencies. This material is called "low-temperature co-fired ceramics". Multilayer ceramic boards were originally made from aluminum oxide. The material was fired at temperatures ≥ 1500 °C, therefore, metallization layers were made only of refractory metals tungsten and molybdenum, which introduced a number of disadvantages in the functionality of the devices, in the improvement of technology and a decrease in production costs. Multilayer ceramics were further developed with the introduction of LTCC technology, when the material began to be mixed with special glasses. The ceramic firing temperature dropped to 850 °C, which simplified the production process.

The main advantages of LTCC technology include: good electrical performance, their stability, the possibility of 3D integration, tightness, the possibility of high-temperature soldering, good thermal conductivity, and low CTE.

Анализ технологий изготовления воздушных винтов сверхлёгких беспилотных летательных аппаратов

Луханин В.О.

МАИ, г. Москва, Россия

Основные технологии изготовления воздушных винтов:

1. Фрезерование из маслонеполненного полиамида ПА-6.

Достоинства: хорошие механические характеристики, не требуется доработка изделия, быстрое получение первого изделия при малых затратах.

Недостатки: низкая производительность, дорогое серийное производство.

2. Печать на 3D принтере оболочки и вставка металлического каркаса.

Достоинства: быстрое изготовление, возможность использования разных оболочек на одном каркасе.

Недостатки: возможно расслоение и деформация пластика.

3. Литьё пластика под давлением [1].

Достоинства: высокая производительность, качество поверхностей, стабильность свойств низкая стоимость при крупносерийном производстве.

Недостатки: высокая стоимость оснастки, невысокие механические характеристики пластмасс.

4. Формование цельнокомпозитного винта (лопастей) в пресс-форме [2] с ручной пропиткой армирующего материала.

Достоинства: высокие механические свойства, относительно простая технология изготовления, возможность изготовления оснастки из недорогих легкообрабатываемых материалов.

Недостатки: повышенная пористость, пониженное содержание армирующего материала, наличие облоя, вероятно появление раковин и других дефектов.

5. Формование трёхслойной конструкции в пресс-форме с ручной пропиткой или с использованием препрега.

Достоинства: высокая прочность при малой массе, такие же достоинства как в п. 4.

Недостатки: напряжения в изделии, наличие облоя, необходимость изготовления сердечника для каждого изделия.

6. Изготовление цельнокомпозитного винта методом вакуумной инфузии или инфузией связующего под давлением [3].

Достоинства: высокое содержание армирующего материала, низкая пористость, отсутствие облоя, качественная поверхность.

Недостатки: относительно сложная технология и оснастка.

Выводы:

Технологии под номерами 3 и 6 являются наиболее подходящими для серийного производства воздушных винтов БПЛА: №3 – для малонагруженных и низкоскоростных, №6 – для винтов, испытывающих значительные нагрузки. Технологии 1 и 2 могут использоваться при изготовлении опытных образцов. Технологии 4 и 5 следует применять для изготовления малых серий при должном контроле качества: №4 – для скоростных нагруженных винтов, №5 – для воздушных винтов с ограничениями на вес конструкции. На этапе проектирования необходимо оценивать влияние той или иной технологии на характеристики воздушного винта.

Analysis of propeller manufacturing technologies ultralight unmanned aerial vehicles

Lukhanin V.O.

MAI, Moscow, Russia

The base technology of the manufacture of the propellers:

1. Milling of oil-filled polyamide PA-6.

Advantages: good mechanical characteristics, no product modification required, fast production of the first product at low cost.

Disadvantages: low productivity, expensive mass production.

2. 3D printing of the shell and insertion of the metal frame.

Advantages: fast production, the ability to use different shells on the same frame.

Disadvantages: plastic may be stratified and deformed.

3. Plastic injection molding [1].

Advantages: high productivity, surface quality, stability of properties, low cost for large-scale production.

Disadvantages: high cost of tooling, low mechanical characteristics of plastics.

4. Forming an all-composite screw (blades) in a mold [2] with manual impregnation of the reinforcing material.

Advantages: high mechanical properties, relatively simple manufacturing technology, the ability to manufacture equipment from inexpensive easily processed materials.

Disadvantages: increased porosity, low content of reinforcing material, the presence of flash, probably the appearance of shells and other defects.

5. Shaping three-layer structure in the mold with the manual impregnation, or by using pre-preg.

Advantages: high strength at low weight, the same advantages as in point 4.

Disadvantages: stresses in the product, the presence of a chip, the need to manufacture a core for each product.

6. Production of an all-composite screw by vacuum assisted resin transfer molding or by resin transfer molding [3].

Advantages: high content of reinforcing material, low porosity, no chips, high-quality surface.

Disadvantages: relatively complex technology and equipment.

Conclusions:

Technologies numbered 3 and 6 are the most suitable for serial production of UAV propellers: No. 3 – for low-load and low-speed propellers, No. 6 – for propellers experiencing significant loads. Technologies 1 and 2 can be used in the production of prototypes. Technologies 4 and 5 should be used for the production of small series with proper quality control: No. 4 – for high-speed loaded propellers, No. 5 – for propellers with restrictions on the weight of the structure. At the design stage, it is necessary to evaluate the impact of a particular technology on the characteristics of the propeller.

Влияние сетчатой структуры эпоксидных полимеров на коэффициент линейного температурного расширения

Мадиярова Г.М., Хамидуллин О.Л., Шишкина Д.А., Сабирзянов Р.Р., Амирова Л.М.
КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия

При разработке композиционных материалов для сложных технических систем, работающих в широком температурном диапазоне, регулирование коэффициента линейного температурного расширения (КЛТР) материалов является одной из основных задач. В анизотропном теле композита разность КЛТР волокна и матрицы приводит к возникновению напряжений, приводящих к короблению изделия или локальному разрушению матрицы. Снижение общего КЛТР материала, а также уменьшение разницы КЛТР компонентов положительно влияет на эксплуатационные свойства изделия.

Способ решения данной задачи путем регулирования схемы армирования не снимает всех проблем, возникающих в процессе эксплуатации изделия, и усложняет возможность прогнозирования длительной стабильности свойств композита. Распространенным подходом создания матриц с низким КТР является использование специальных добавок. В последние годы находится все больше материалов, имеющих отрицательные значения коэффициента термического расширения [1-3].

Целью данной работы явилось изучить ненаполненные эпоксидные полимеры с дальнейшей перспективой введения в них наполнителя с низким или отрицательным КТР. Изучение влияния параметров сетчатой структуры эпоксидных полимеров проводилось на основе ряда эпоксиноволачных смол и аминного отвердителя.

Коэффициент линейного температурного расширения определялся на TMA 402 F3 Hyperion (Netzsch), процесс отверждения и теплоемкость связующих определялись на DSC 204 F1 Phoenix. Значение температуры стеклования и средней молекулярной массы межузлового сегмента сетки определялись на DMA Q800 (TA Instruments). Оценивались параметры уравнения ДиБенедетто и значение конверсии в точке геля. Изменение мнимого и действительного модулей сдвига при отверждении изучалось в осцилляционном режиме на RheoStress 6000 (Haake). Обобщенные частотные кривые при температуре приведения строились на основе принципа температурно-временной суперпозиции (TBC), как для жидких, так и для отвержденных образцов.

Работа выполнялась при финансовой поддержке АО «ОДК» (научная стипендия).

Литература:

1. Evans, J.; Mary, T.; Sleight, A. Sleight A W. Negative Thermal Expansion in Sc₂(WO₄)₃ J. Solid State Chem. 1998, 137, 148.
2. Wang, X.; Huang, Q.; Deng, J.; Yu, R.; Chen, J.; Xing, X. Phase Transformation and Negative Thermal Expansion in TaVO₅. Inorg. Chem. 2011, 50, 2685.
3. Evans, J.; Mary, T.; Vogt, T.; Subramanian, M.; Sleight, A. Negative Thermal Expansion in ZrW₂O₈ and HfW₂O₈. Chem. Mater. 1996, 8, 2809.

Influence of the network structure of epoxy polymers on the coefficient of linear thermal expansion

Madiyarova G.M., Khamidullin O.L., Shishkina D.A., Sabirzyanov R.R., Amirova L.M.
KNRTU-KAI, Kazan, Russia

When developing composite materials for complex technical systems operating in a wide temperature range, one of the main tasks is controlling the coefficient of linear thermal expansion (CTE) of materials. In the composite's anisotropic body, the difference between the CTEs of the fiber and the matrix leads to stresses that result in buckling and local destruction of the matrix. A decrease of total CTE of the material and a decrease in the difference in components CTE positively affect the product's functional properties.

Adjustment of the reinforcement scheme does not eliminate all the problems that arise during the product's operation and complicates the prediction of the long-term stability of the properties of the composite. Using special additives is a common approach to the development of matrices with low CTE. Recently, there are more and more materials with negative values of the CTE [1-3].

This work aimed to study unfilled epoxy polymers with the further prospect of introducing a filler with a low or negative CTE into them. The study of the influence of the lattice structure parameters of epoxy polymers was carried out based on several epoxy novolac resins and an amine hardener.

The linear thermal expansion coefficient was determined on a TMA 402 F3 Hyperion (Netzsch), the curing process and the binders' heat capacity were determined on a DSC 204 F1 Phoenix. The glass transition temperature and average molecular weight of the intermodal segment of the lattice were determined on a DMA Q800 (TA Instruments). The parameters of the DiBenedetto equation and the conversion value at the gel point were estimated. The change in the imaginary and actual shear moduli during curing was studied in an oscillatory mode on a RheoStress 6000 (Haake). Generalized frequency curves at the reference temperature were plotted based on the principle of temperature-time superposition (TVS), both for liquid and cured samples.

The work was carried out with the financial support of UEC JSC (scientific scholarship).

References:

1. Evans, J. ; Mary, T. ; Sleight, A. Sleight A.W. Negative Thermal Expansion in Sc₂(WO₄)₃ J. Solid State Chem. 1998, 137, 148.
2. Wang, X. ; Huang, Q. ; Deng, J. ; Yu, R. ; Chen, J. ; Xing, X. Phase Transformation and Negative Thermal Expansion in TaVO₅. Inorg. Chem. 2011, 50, 2685.
3. Evans, J. ; Mary, T. ; Vogt, T. ; Subramanian, M. ; Sleight, A. Negative Thermal Expansion in ZrW₂O₈ and HfW₂O₈. Chem. Mater. 1996, 8, 2809.

Структура и свойства образцов из титанового сплава Ti-6Al-4V после печати методом прямого лазерного сплавления металла

Мельникова Д.Д., Иванов А.Е.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время большое распространение получили аддитивные технологии с применением различных материалов в том числе металлов. Одним из таких материалов стали титановые сплавы. Благодаря комплексу свойств таких как биосовместимость, коррозионная стойкость, пластичность и удельная прочность титановые сплавы получили большое применение в медицине, авиации, космонавтике и химической промышленности.

Прямое лазерное сплавление металла (DMLS/DMLM) основана на технологии послойной печати для изготовления высококачественных металлических деталей. такой метод быстрого 3D-прототипирования является одним из наиболее часто используемых для получения деталей сложных формы.

Качество конечного изделия, полученного по технологии прямого лазерного сплавления металла сильно зависит от большого количества факторов таких как морфология фракций металлического порошка и режима печати. В связи с этим, исследование структуры и свойств образцов, полученных изготовленного по технологии DMLS/DMLM является актуальной задачей.

Исследования проводились на образцах титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных методом DMLS/DMLM, напечатанные на двух различных принтерах. Были выбраны два направления: направление печати (НП) и поперечное направление (ПН). На начальном этапе работы была исследована микроструктура и измерены твёрдость в этих двух направлениях, а также измерена шероховатость поверхности образцов непосредственно после 3D-печати.

В направлении НП структура имеет равноосные β -зёрна с внутризёрненной структурой, представленной α' мартенситом. Размер β -зёрна отличается незначительно и средний размер после печати на первом принтере составляет 120 мкм, на втором – 100 мкм. Несколько меньший размер β -зёрна, что может быть обусловлено использованием порошка с более мелкими фракциями. В направлении ПН зёрна β -фазы вытянуты в направлении роста образца. Средняя высота β -зёрен на образцах, полученных на первом принтере, составляет 245 мкм, а на втором – 215 мкм. Такое различие также, как и в предыдущем случае, может быть обусловлено использованием порошка разных фракций. Исследование шероховатости (Rz) поверхности образцов не показало большие различия и составило 61,5 мкм на первом и 59,3 мкм на втором принтере. Измерение твёрдости показало, что разница значений твёрдости в зависимости от направления печати может достигать 5-6 ед. HRC. Разницы между значениями твёрдости образцов после печати на одном и на втором принтере обнаружено не было, и она составила 35-37 ед. HRC.

Structure and properties of samples from titanium alloy Ti-6Al-4V after printing by direct laser metal alloying

Melnikova D.D., Ivanov A.E.

MAI, Moscow, Russia

At present, additive technologies with the use of various materials, including metals, have become widespread. Titanium alloys have become one of these materials. Due to a complex of properties such as biocompatibility, corrosion resistance, ductility and specific strength, titanium alloys are widely used in medicine, aviation, astronautics and the chemical industry.

Direct Metal Laser Melting (DMLS/DMLM) is based on layer-by-layer printing technology for high quality metal parts. this method of rapid 3D-prototyping is one of the most commonly used to obtain complex shaped parts.

The quality of the final product obtained by direct metal laser alloying technology strongly depends on a number of factors such as the morphology of the metal powder fractions and the printing mode. In this regard, the study of the structure and samples obtained manufactured using the DMLS/DMLM technology is an actual guarantee.

The research was carried out on samples of titanium alloy Ti-6Al-4V, obtained by the DMLS / DMLM method, printed on two different printers. Were chosen two directions: the direction of the press (DP) and the transverse direction (PN). At the initial stage of the work, the microstructure was investigated and the hardness was measured in these two directions, as well as the surface roughness was measured immediately after 3D printing.

In the direction of the NP, the structure has equiaxed β -grains with an intragranular structure represented by α' martensite. The β -grain size differs insignificantly and the average size after printing on the first printer is 120 microns, on the second – 100 microns. A slightly smaller β -grain size may be due to the use of a powder with finer fractions. In the direction of the ST, the β -phase grains are elongated in the direction of sample growth. The average height of β -grains in the samples obtained on the first printer is 245 μm , and on the second one – 215 μm . This difference can also be due to the use of powder of different fractions. The study of the roughness (Rz) of the samples does not have much difference and was 61.5 μm on the first and 59.3 μm on the second printer. Measurement of hardness showed that the difference in hardness values depending on the direction of printing can reach 5-6 units HRC. The difference between the hardness values of the samples after printing on one and the second printer was not found, and it was 35-37 units HRC.

Оценка возможности использования тугоплавких оксидов металлов для стабилизации диоксида циркония, путем высокочастотного переплава с последующим размолом

¹Митрофанов А.Л., ²Ленковец А.С., ²Колотенко И.Р., ¹Лозован А.А.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²АО «Композит», г. Королёв, Россия

На сегодняшний день одним из наиболее востребованных жаростойких материалов является диоксид циркония, стабилизированный оксидами иттрия и кальция. При этом возрастающие требования к космическим и летательным аппаратам требуют использования новых стабилизаторов, а также технологий, обеспечивающих внедрение стабилизатора в кристаллическую решетку диоксида циркония.

Наиболее простой, с точки зрения реализации, является технология высокочастотного переплава смеси диоксида циркония со стабилизатором, с последующим дроблением и размолом. Данная технология успешно применяется в условиях опытно-промышленного производства для получения порошков диоксида циркония, стабилизированных оксидом кальция.

Для оценки возможности получения стабилизированного диоксида циркония с другими оксидами проведен анализ литературы [1-4], который показал, что наиболее перспективными стабилизаторами являются Al_2O_3 , MgO , TiO_2 , La_2O_3 , Gd_2O_3 .

В дальнейшем планируется провести работы по стабилизации диоксида циркония перечисленными оксидами путем высокочастотного переплава с последующим проведением рентгенофазового анализа и оценки химического состава. Полученные порошки планируется использовать для нанесения жаростойких покрытий на теплонапряженных узлах двигательных установок.

Литература:

1. Рутман Д.С., Торопов Ю.С., Плинер С.Ю., Неуймин А.Д., Полежаев Ю.М. Высокоогнеупорные материалы из диоксида циркония. Издательство «Металлургия», 1985, с. 26 - 32.
2. Гаршин А.П. Материаловедение. Том 1. Абразивные материалы. 2017, с. 85 - 86.
3. Семенов Г.А. Процессы испарения в системах на основе оксидов циркония и гафния / Г.А. Семенов, А.Н. Белов // Химия силикатов и оксидов. – 1982. – С. 211 – 224.
4. Кульков С.Н., Буякова С.П. Фазовый состав и особенности формирования структуры на основе стабилизированного диоксида циркония. Российские нанотехнологии, Том 2. Томск, 2007, с. 119 - 132.

Evaluation of the possibility of using refractory metal oxides to stabilize zirconium dioxide, by means of high-frequency melting with subsequent crushing

¹Mitrofanov A.L., ²Lenkovets A.S., ²Kolotenko I.R., ¹Lozovan A.A.

¹MAI, Moscow, Russia

²Kompozit, Korolev, Russia

To date, one of the most sought-after heat-resistant materials is zirconium dioxide stabilized by oxides yttrium and calcium. At the same time, increasing requirements for spacecraft and aircraft require the use of new stabilizers, as well as technologies that ensure the introduction of a stabilizer to the crystal lattice of zirconium dioxide.

The simplest, in terms of implementation, is an the technology of high-frequency melting of zirconium dioxide mixture with a stabilizer, followed by crushing and grinding. This technology is successfully applied under conditions of experimental production to obtain zirconium dioxide powders stabilized by calcium oxide.

To assess the possibility of obtain stabilized zirconium dioxide with other oxides was carried out an analysis of the literature, which showed that Al_2O_3 , MgO , TiO_2 , La_2O_3 , Gd_2O_3 are the most promising stabilizers.

In the future, it is planned to carry out work on stabilization of zirconium dioxide with the oxides by high-frequency melting, followed by the conduct of X-ray phase analysis and the assessment of

the chemical composition. The resulting powders will plan to use to apply heat-resistant coatings on nodes of propulsion systems.

References:

1. Rutman D.S., Toropov Yu.S., Pliner S.Yu., Nevimin A.D., Polezhaev Yu.M. High heat-resistant materials from zirconium dioxide. Publishing House «Metallurgy», 1985, p. 26 – 32.
2. Garshin A.P. Materials Science. Volume 1. Abrasive materials. 2017, p. 84 – 86.
3. Semenov G.A. Evaporation processes in oxides zirconium and hafnium based system / G.A. Semenov, A.N. Belov // Chemistry silicates and oxides. – 1982. – P. 211 – 224.
4. Kulkov S.N., Buyakova S.P. Phase composition and features of the formation of a structure based on stabilized zirconium dioxide. Russian nanotechnology, Volume 2. Tomsk, 2007, p. 119 – 132.

Методика автоматизированной подготовки готового решения для функционального контроля СБИС

Назаров А.В., Уляхин А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Технический прогресс меняет электронику ускоренными темпами. Сейчас этап ее развития определяется появлением всё новых технологических средств. Структура радиоэлектронных средств усложняется со временем, потому что потребности пользователей растут, а значит, требуется усиленный контроль качества продукции. Средства для тестирования развиваются несколько медленнее, чем выходят в свет всё новые усложненные микросхемы, однако в такой ситуации инженеры должны оперативно разрабатывать улучшенные средства для проведения испытаний.

В докладе сформулированы причины и суть проблемы недостаточно быстрого проектирования оснастки для проведения функционального контроля СБИС, проанализированы методы и средства помогающие удешевить и ускорить в несколько раз процесс разработки. Также рассмотрена возможность подготовки электрической оснастки для разного типа оборудования.

Предложен оригинальный маршрут проектирования оснастки, который выводит проектирование на качественно новый уровень. Он реализован при помощи программно-аппаратного комплекса FTStudio, компонентно-ориентированного языка STeEL и его компонента DUTboard. При помощи данного комплекса пользователь может описать свои атрибуты-функции, видоизменяя набор правил по которым будет проводиться автоматическое назначение выводов микросхем на каналы функционального тестера. Атрибуты создаются единожды и могут использоваться в последующих проектах. Также язык позволяет проектировать оснастку под несколько разных испытательных стендов.

На примерах показано содержание всего цикла разработки и описано его улучшение. Из нескольких представленных выбран один алгоритм автоматизированного назначения выводов микросхемы на каналы тестера.

Результат показывает, что существует методика с помощью которой можно опростить процесс разработки оснастки для тестирования, сократив затраты, ускорить составление технического задания на печатную плату, а также исключить ошибки связанные с человеческим фактором.

Methodology for automated preparation of a ready-made solution for functional control of VLSI

Nazarov A.V., Uliakhin A.V.
MAI, Moscow, Russia

Technical progress is changing electronics at an accelerated pace. Now the stage of its development is determined by the appearance of more and more new technological means. The structure of radioelectronic means becomes more complicated over time because the needs of users are growing, which means that increased control of product quality is required. Testing tools evolve at a slightly slower pace than ever more sophisticated microcircuits are released, but in this situation, engineers must quickly develop improved test tools.

The report formulates the reasons and essence of the problem of insufficiently fast design of equipment for carrying out functional control of VLSI, analyzed methods and tools that help to reduce the cost and speed up the development process several times. The possibility of preparing electrical equipment for various types of equipment was also considered.

Proposed an original tooling design route which brings design to a qualitatively new level. It is implemented using the FTStudio software and hardware complex, the component-oriented STeEL language and its DUTboard component. Using this complex the user can describe his attributes-functions, modifying the set of rules according to which the automatic assignment of microcircuit pins to the channels of the functional tester will be carried out. Attributes are created once and can be used in subsequent projects. The language also allows you to design tooling for several different test benches.

The examples show the content of the entire development cycle and describe its improvement. Of the several presented one algorithm for the automated assignment of microcircuit pins to the tester channels was selected.

The result shows that there is a methodology by which you can simplify the process of developing equipment for testing, reducing costs, speeding up the preparation of technical specifications for a printed circuit board, and also eliminating errors associated with the human factor.

Напряжённое состояние композитных оболочек с пьезоэлектрическими слоями на основе уточненной теории

Нгуен Х.Л., Фирсанов В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время пьезоматериалы широко используются в различных областях машиностроения, автоматике, вычисленной техники и др.... В авиационной и космической отрасли пьезоматериалы используются в качестве сенсоров и актюаторов в виде корпусных элементов конструкций на адаптивных системах летательных аппаратов (ЛА) с целью повышения качества аэродинамики и эффективного управления их деформациями. Кроме того, для снижения массы и повышения прочности на ЛА распространено применяются композиционные материалы. Сочетание пьезоэлектрических и композиционных материалов позволяет улучшить свойства современных ЛА как управляемых системы. Поэтому, исследование и расчёт электроупругостного состояния композиционных элементов конструкций с пьезоэлектрическими слоями является актуальной проблемой.

Основными расчётными схемами элементов конструкций ЛА являются тонкие пластинки и оболочки. Расчёты напряжённо-деформированного состояния корпусных элементов ЛА базируются на результатах классической теории тонких пластин и оболочек типа Кирхгофа-Лява. В основу этой теории была положена гипотеза о сохранении нормального элемента, позволившая привести трёхмерную проблему теории упругости к двумерной. Практика и опыт эксплуатации ЛА показывает, что в зонах скачкообразного изменения жесткостных характеристик, т.е. вблизи соединений, стыков конструкций из пьезоэлектрических и обычных материалов наиболее часто происходят разрушения из-за наличия дополнительных напряжений типа "погранслои". Расчёты напряжённо-деформированного состояния в этих узких краевых зонах искажения по классической теории оболочки не даёт удовлетворительного соответствия с практикой.

В данной работе предлагается вариант уточнённой теории расчёта напряжённого состояния цилиндрических композиционных оболочек с пьезоэлектрическими слоями на верхней и нижней поверхностях. Система уравнений равновесия оболочек и граничные условия получены с помощью принципа минимизации полной энергии Лагранжа. Задача сведения трёхмерных уравнений к двумерным осуществляется путем представления искомых перемещений и электрических потенциалов полиномами по нормальной координате на две степени выше по отношению к классической теории типа Кирхгофа-Лява. Для решения сформулированной краевой задачи используются ряды Фурье и операционный метод, основанный на преобразовании Лапласа.

Stress state of composite shells with piezoelectric layers based on the high order shear deformation theory

Nguyen H.L., Firsanov V.V.
MAI, Moscow, Russia

Nowadays, piezomaterials are widely used in various fields of mechanical engineering, automation, computational technology, etc. ... In the aviation and space industry, piezoelectric materials are used as sensors and actuators in the form of hull structural elements on adaptive aircraft systems in order to improve the quality aerodynamics and effective control of their deformations. In addition, composite materials are widely used to reduce weight and increase strength on aircraft. The combination of piezoelectric and composite materials improves the properties of modern aircraft as controlled systems. Therefore, the study and calculation of the electroelastic state of composite structural elements with piezoelectric layers is an urgent problem.

The main design diagrams of aircraft structural elements are thin plates and shells. Calculations of the stress-strain state of aircraft body elements are based on the results of the classical theory of thin plates and shells of the Kirchhoff-Love type. This theory was based on the hypothesis of conservation of a normal element, which made it possible to reduce the three-dimensional problem of the theory of elasticity to a two-dimensional one. The practice and experience of aircraft operation shows that in zones of abrupt change in stiffness characteristics, ie near joints, joints of structures made of piezoelectric and conventional materials, destruction most often occurs due to the presence of additional stresses of the "boundary layer" type. Calculations of the stress-strain state in these narrow edge distortion zones according to the classical shell theory do not provide satisfactory agreement with practice.

In this paper, we propose a variant of the refined theory for calculating the stress state of cylindrical composite shells with piezoelectric layers on the upper and lower surfaces. The system of equilibrium equations for shells and facet conditions are obtained using the principle of minimizing the total Lagrange energy. The task of reducing three-dimensional equations to two-dimensional is carried out by representing the sought displacements and electric potentials by polynomials in the normal coordinate two degrees higher in relation to the classical theory of the Kirchhoff-Love type. To solve the formulated boundary value problem, Fourier series and an operational method based on the Laplace transform are used.

Применение промышленных роботов для клепальных работ

Нейперт Т.А., Андреев В.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

Заклепочные соединения, несмотря на свою чрезвычайно высокую трудоемкость, были и остаются одними из самых востребованных соединений при сборке авиационной техники – их количество на один ЛА может составлять до 80%. Именно поэтому снижение трудоемкости заклепочных соединений позволит существенно повысить эффективность производства авиационной техники.

Повышение автоматизации и уход от ручной клепки решили сначала проблему трудоемкости создания самого соединения благодаря клепальным прессам и клепальным автоматам, но вместе с этим появилась проблема позиционирования узлов в этих станках. В современных решениях позиционирование осуществляется при помощи двух колонн, удерживающих поворотную раму с склепываемым узлом, вдоль которой, в свою очередь, перемещается сам клепальный автомат либо порталного, либо С-образного типа.

На данный момент в производство активно внедряются промышленные роботы, способные в силу своей гибкости решать широкий спектр задачи. Одна из важных особенностей промышленных роботов – высокая точность и гибкость. Учитывая именно эти преимущества, есть возможность применения их вместо колонн для позиционирования склепываемого узла.

Предлагается следующее решение для позиционирования узла в клепальном автомате: склепываемый узел проходит этап предварительной сборки в упрощенном сборочном приспособлении с применением сменной рамы. Элементы фиксируются специальными

пустотелыми технологическими заклепками. Затем два промышленных робота удерживают поворотную раму с зафиксированным в ней агрегатом. Роботизированные манипуляторы осуществляют перемещение внутри С-образной рамы клепального автомата в установленные программой положения. Снижение количества переходов при клепке и смен позиций позволит повысить точность выполняемых соединений и сохранить жесткость узла. Данное решение будет выгодно для заводов, не имеющих больших мощностей или не имеющих места под стандартный двухколонный позиционер.

Позиционирование с помощью промышленных роботов имеет ряд преимуществ по сравнению с классическим позиционированием при помощи колонн, а именно – дешевизна, универсальность и адаптивность. Недостатками предложенного способа является разработка нового программного обеспечения и сложности с устойчивостью при расклепывании стержня заклепки.

Проработка такого варианта позиционирования узла в клепальном автомате позволит снизить порог вхождения в серийное производство клепанных агрегатов авиастроения для некрупных предприятий и расширит фронт работ.

Applying of industrial robots for riveting works

Neypert T.A., Andreev V.D.

MAI, Moscow, Russia

Riveted joints, despite their extremely high labor intensity, were and remain one of the most popular joints in the assembly of aviation equipment – their number per aircraft can be up to 80%. That is why reducing the labor intensity of riveted joints will significantly increase the efficiency of aircraft production.

Increasing automation and avoiding manual riveting first solved the problem of laboriousness of creating the joint itself thanks to riveting presses and riveting machines, but at the same time the problem of positioning units in these machines arose. In modern solutions, positioning is carried out by means of two columns holding a pivot frame with a riveting unit, along which, in turn, the riveting machine itself, either portal or C-shaped, moves.

At the moment, industrial robots are being actively introduced into production, which, due to their flexibility, are capable of solving a wide range of tasks. One of the important features of industrial robots is high precision and flexibility. Considering these advantages, it is possible to use them instead of columns for positioning the riveted unit.

The following solution is proposed for positioning the unit in the riveting machine: the riveted unit passes the stage of preliminary assembly in a simplified assembly device using a replaceable frame. The elements are fixed with special hollow technological rivets. Then two industrial robots hold the pivot frame with the unit fixed in it. Robotic manipulators move inside the C-shaped frame of the riveting machine to the positions set by the program. Reducing the number of riveting transitions and position changes will improve the accuracy of the joints and maintain the rigidity of the node. This solution will be beneficial for factories that do not have large capacities or do not have room for a standard two-column positioner.

Positioning with industrial robots has a number of advantages over classical positioning with columns, namely, low cost, versatility and adaptability. The disadvantages of the proposed method are the development of new software and the complexity of stability when riveting the rivet rod.

The development of such an option for positioning the unit in a riveting machine will reduce the threshold for entering serial production of riveted aircraft and rocketry units for small enterprises and will expand the scope of work.

Композиционные радиопоглощающие материалы на основе тонких пленок для решения задач ЭМС и помехозащитности в бортовой аппаратуре авиационной техники

Николайчук Г.А., Мороз О.Ю.

АО «НИИ «Феррит-Домен», г. Санкт-Петербург, Россия

Современные летательные аппараты (ЛА) оснащаются широкой номенклатурой радиоэлектронных систем (средств), обеспечивающих решение множества задач: навигации,

радиолокации, связи; управления воздушным движением и др. Особенностью работы бортовой аппаратуры ЛА является сосредоточение в ограниченных объемах большого количества приемно-передающих устройств различного назначения, работающих на общие или раздельные антенно-фидерные устройства, и, зачастую, в совпадающих диапазонах частот.

При плотном размещении радиоэлектронных средств в ограниченных объемах возрастает актуальность задач снижения уровня неосновных (внеполосных, побочных, шумовых) излучений, а также подавления объемных резонансов, возникающих при распространении этих излучений внутри корпусов и модулей бортовой аппаратуры.

Для подавления паразитных излучений в СВЧ-блоках, узлах СВЧ трактов широко используются радиопоглощающие материалы на основе компаундов с ферромагнитными наполнителями, однако их применение в бортовой аппаратуре летательных аппаратов затруднено по причинам высокой плотности $3,5 - 4 \text{ г/см}^3$ и более, а также низкой стойкости к вибрационным нагрузкам.

В результате исследований по интегрированию радиопоглощающих пленок аморфного гидрогенизированного углерода с наночастицами Ni в структуру конструкционных стеклопластиков создан конструкционный радиопоглощающий материал с низким коэффициентом отражения электромагнитного излучения в широком диапазоне частот с высокими прочностными, технологическими и эксплуатационными свойствами.

Образцы материала с плотностью $1,83 \text{ г/см}^3$ толщиной $3,5 - 3,8 \text{ мм}$ имеют коэффициент отражения не более минус 10 дБ в широком диапазоне частот при углах падения электромагнитной волны $20 - 90^\circ$ к поверхности образца, при этом прочностные характеристики соответствуют промышленным стеклотканевым композициям.

Материал изготавливается по стандартной промышленной технологии и может быть использован при изготовлении агрегатов самолетов, вертолетов, ракет, БЛА, таких как планер, носки крыла, обшивка крыла и фюзеляжа, эксплуатационные лючки, ложементы под бортовую аппаратуру и другие изделия сложных форм, в едином технологическом цикле.

Использование материала позволит решать задачи электромагнитной совместимости бортовой аппаратуры летательных аппаратов без использования радиопоглощающих покрытий.

Thin film based composite radio wave absorbing materials for electromagnetic compatibility and noise immunity in onboard equipment of modern aircrafts

Nikolaychuk G.A., Moroz O.Yu.

Ferrite-Domen Co., Saint-Petersburg, Russia

Modern aircrafts are equipped with a wide range of electronic systems and devices, which provide a solution to a variety of tasks such as navigation, radar, communications; air traffic control, etc. The aircraft onboard equipment is characterized by the concentration of a large number of transmitting and receiving devices for various purposes in limited areas, this equipment operates on common or separate antenna-feeder devices, and, often, in the same frequency ranges.

With the dense arrangement of radio electronic equipment in limited areas increases the urgency of reducing the level of minor (out-of-band, side, noise) emissions, as well as suppressing of cavity resonances arising from the propagation of these emissions inside the frames and modules of onboard equipment.

To suppress parasitic radiation in microwave units, nodes of microwave paths, radio wave absorbing materials based on compounds with ferromagnetic fillers are widely used, however, its use in on-board equipment of aircraft is difficult due to its high density ($3.5 - 4 \text{ g/cm}^3$ or more) as well as low resistance to vibrations.

As a result of studies on the integration of radio wave absorbing films of amorphous hydrogenated carbon with Ni nanoparticles into the structural fiberglass, a structural radar absorbing material with a low reflection coefficient of electromagnetic radiation in a wide frequency range with high strength, technological and operational properties has been created.

Samples of material with 1.83 g/cm³ density and a thickness of 3.5 - 3.8 mm have less than minus 10 dB reflection coefficient in a wide frequency range at angles of electromagnetic wave incidence to the sample surface in 20 - 90° interval, while the material strength characteristics correspond to industrial fiberglass.

The material is manufactured according to standard industrial technology and can be used in the manufacturing of units for aircrafts, helicopters, cruise missiles, UAVs, such as airframe, wing ahead, wing and fuselage skin, maintenance hatches, cradles for onboard equipment and other products of complex shape, in a single processing cycle.

The use of this material will make possible to solve the problem of electromagnetic compatibility of the onboard equipment of aircraft without the use of standard radio-absorbing coatings.

Прогноз структурного состояния в поковке колеса на основе компьютерного моделирования

¹Овчинников А.В., ²Пчельников А.В.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²АО «СМК», г. Ступино, Россия

Среди процессов формирования структуры при горячей обработке давлением важнейшим является рекристаллизация. Воздействуя на кинетику рекристаллизации, можно получить широкую гамму структур от полигонизованной, волокнистой, до полностью рекристаллизованной равноосной микроструктуры.

Движущей силой рекристаллизации является запасенная энергия деформации. В качестве её меры можно использовать деформирующее напряжение, являющееся функцией температуры, скорости и степени деформации. Мерой запасённой энергии, в этом случае, может быть параметр Зинера-Холомона Z , а графическим отображением – диаграммы структурного состояния сплава (ДСС).

В работе с использованием ДСС исследована причина появления крупнозернистой области, локализованной в ободке штампованной поковки колеса из алюминиевого сплава АК6. Штамповка проводилась на гидравлическом прессе в подогретых штампах. Технология штамповки включала нагрев, осадку и окончательную штамповку.

Расчёт распределения температуры и скорости деформации по объёму поковки выполняли в системе моделирования процессов пластической деформации QForm. Анализ структурного состояния проводили в семи точках вертикального сечения поковки, одна из которых А располагалась вблизи крупнозернистой области.

Результаты моделирования показывают, что именно точка А находится в области смешанной структуры ДСС. Рекристаллизация в этой области проходит при малом количестве центров рекристаллизации, и зёрна успевают вырасти до большого размера при нагреве под закалку. Структурное состояние в остальных контрольных точках соответствовало полигонизованной структуре.

Пути преодоления роста зерна в неблагоприятной области поковки определяются самой ДСС. Необходимо либо увеличивать температуру нагрева заготовки, либо снижать скорость деформации. Проведено компьютерное моделирование обоих вариантов. Установлено, что оба варианта дают положительный эффект. Однако повышение температуры увеличивает риск перегрева материала поковки. Поэтому с учётом производительности штамповки более предпочтителен вариант снижения скорости деформации в конце процесса штамповки.

Prediction of the structural state in a wheel forging based on computer modeling

¹Ovchinnikov A. V., ²Pchelnikov A. V.

¹MAI, Moscow, Russia

²СМК, Stupino, Russia

Among the processes of structure formation during hot working by pressure, recrystallization is the most important. By influencing the kinetics of recrystallization, it is possible to obtain a wide range of structures from polygonized, fibrous, to fully recrystallized equiaxed microstructure.

The accumulated deformation energy is the driving force of recrystallization. Deforming stresses, which are a function of temperature, strain and strain rate, can be used as its measure. The measure of the stored energy, in this case, can be the Zener-Holomon parameter Z , and the graphical display is the structural state diagram of the alloy (SSD).

In this work, using SSD, the reason for the appearance of a coarse-grained region localized in the rim of a stamped forging wheel made of AK6 aluminum alloy was investigated. Stamping was carried out on a hydraulic press in heated dies. The stamping technology included heating, upsetting and final stamping.

The calculation of the temperature and strain rate distribution over the forging volume was carried out in the QForm system for modeling plastic deformation processes. The analysis of the structural state was carried out at seven points of the vertical section of the forging, one of which, A, was located near the coarse-grained region.

The simulation results show that it is point A that is in the region of the mixed structure of the SSD. Recrystallization in this area takes place with a small number of recrystallization centers, and the grains have time to grow to a large size when heated for quenching. The structural state in the rest of the control points corresponded to the polygonized structure.

The ways to overcome grain growth in the unfavorable area of the forging are determined by the SSD itself. It is necessary either to increase the heating temperature of the workpiece, or to decrease the deformation rate. Computer simulation of both options was carried out. Both options have been found to have a positive effect. However, an increase in temperature increases the risk of overheating of the forging material. Therefore, taking into account the productivity of stamping, it is more preferable to reduce the deformation rate at the end of the stamping process.

Использование методов оптимизации для выбора траектории перемещения блиска при нанесении вакуумно-дугового покрытия

Олейник А.В.

УГАТУ, г. Уфа, Россия

В последние десятилетия конструкция компрессора газотурбинного двигателя претерпела значительные изменения. Это связано с возросшими температурными и силовыми нагрузками, что привело к внедрению интегрированной конструкции диска с лопатками, известной как блиск, позволивший увеличить ресурс, а также снизить вес детали [1].

Опыт эксплуатации данной конструкции свидетельствует о необходимости защиты лопаток осевого моноколеса от эрозионного повреждения [2]. Одним из успешных подходов к решению данной проблемы является нанесение защитного вакуумного ионно-плазменного покрытия. Однако сложная форма поверхности лопаток блиска, а также их взаимное перекрытие создают области, в которых плотность плазмы заметно ниже, в связи с чем их обработка может осуществляться неравномерно. Классический путь решения данной проблемы – создание такой траектории движения тела относительно испарителей плазмы, при которой обеспечивается максимальная равномерность обработки [3].

С этой целью разработана установка, осуществляющая двухосевое вращение моноколеса в вакуумной камере. Для подбора оптимальной траектории блиска использован алгоритм, включающий численное моделирование и линейное программирование. В основе модели предполагается, что распыленные (в соответствии с распределением Ламберта-Кнудсена) с катода частицы материала движутся по прямолинейным траекториям, не взаимодействуя с частицами окружающей среды и конденсируются непосредственно в точках соударения с поверхностью подложки. Затем результаты расчета используются при оптимизации, целевой функцией которой является среднеквадратичное отклонение толщины покрытия. Данный подход позволил снизить расчетную неравномерность толщины покрытия с 4.3 - 10.8 до 6.2 - 10.4 мкм.

Литература:

1. Hennig W., Feldmann G., Haubold T. Shot peening method for aerofoil treatment of blisk assemblies // *Procedia Cirp*. 2014. Т. 13. с. 355–358

2. Фомичев Е.О. Разработка способа восстановления моноколес газотурбинных двигателей: диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук: 05.02.10. // Фомичев Евгений Олегович. - Москва, 2013. - 209 с.

3. Anders A. Cathodic arcs / Springer Science+Business Media, LLC, 2008.- 555 с.

The optimization methods usage for choosing the trajectory of the blisk movement during PVD coating deposition

Oleinik A.V.

USATU, Ufa, Russia

In recent decades, the GTE compressor design has undergone significant changes due to the increased temperature and power loads. It led to the introduction of an integrated design of a disc with blades, known as blisk, which made it possible to increase the resource, as well as reduce the part's weight [1].

The operating experience of the part indicates the need of blisk blades protection from erosion damage [2]. One of the successful approaches to solving this problem is a protective vacuum ion-plasma coating deposition. However, the complex shape of the blisk blade surface create regions in which the plasma density is noticeably lower, and therefore their processing can be carried out unevenly. The classical way to solve this problem is to create a trajectory of the part in a vacuum chamber which ensures the maximum uniformity of processing [3].

For this purpose, a vacuum chamber that carries out biaxial rotation of a monowheel has been developed. An algorithm was used in order to select the optimal blisk trajectory. It includes numerical modeling and linear programming. The model is based on the assumption that material particles sputtered (in accordance with the Lambert-Knudsen distribution) from the cathode and move along linear trajectories without interacting with environmental particles and condense directly at the points of collision with the substrate surface. Then the results of the calculation are used for optimization. The objective function is the standard deviation of the coating thickness. This approach reduced the calculated non-uniformity of the coating thickness from 4.3 - 10.8 to 6.2 - 10.4 μm .

Влияние состояние поверхности на коррозионную стойкость биосовместимых металлических материалов

Орлов А.А., Грушин И.А., Гуркина Е.Д., Иванов А.Е.

МАИ, г. Москва, Россия

Биосовместимые материалы применяются в медицине достаточно давно и имеют свои преимущества и недостатки. Имплантаты из аустенитной нержавеющей стали имеют высокий модуль упругости и подвержены точечной и щелевой коррозии, особенно для долгосрочного (> 10 лет) применения. С другой стороны, сплавы на основе титана имеют лучшую из всех перечисленных выше материалов биосовместимость и коррозионную стойкость, но их низкая износостойкость ограничивает их использование для шарнирно-сочлененных поверхностей таких высоконагруженных изделий как протезы тазобедренного и коленного суставов. Сплавы на основе кобальта обладают высокой коррозионной стойкостью и усталостной прочностью и имеют лучшую износостойкость, по сравнению с аустенитными сталями и титановые сплавы. Поэтому эти сплавы считаются одними из лучших металлических материалов для компонентов узлов трения. Тем не менее, как клинические, так и лабораторные исследования показали, что износ поверхности трущихся пар всё-таки существует, что является основным ограничением их долговечности. Выход ионов хрома и кобальта в организм человека является серьезной проблемой из-за их потенциальной токсичности. В данной работе исследовалась коррозионная стойкость образцов из кобальтового сплава Co-Cr-Mo, Ti-6Al-4V и 316L в исходном состоянии после механической полировки. Проводили сравнительную оценку стационарных потенциалов (Ест) и плотностей тока пассивного состояния (іпас). Стационарный потенциал образцов из сплавов на основе кобальта Co-Cr-Mo, титана Ti-6Al-4V и стали 316L в полированном состоянии составил 50, -112 и 125 мВ, соответственно. Несмотря на то, что сплав Ti-6Al-4V имеет отрицательный стационарный потенциал и ток пассивного состояния у него выше, чем

у других исследованных сплавов, но он не изменяется при увеличении напряжения до 1500 мВ, что свидетельствует о его высокой стойкости. В то время как у образцов из кобальт-хромового сплава и стали 316L наблюдается пробой оксидной пленки при значениях 740 мВ и 700 мВ, соответственно, что говорит об их низком сопротивлении коррозии. Однако, необходимо отметить, что у кобальтового сплава более четко выражена область пассивного состояния. Таким образом, проведенные исследования показали, что сплав на основе титана (Ti-6Al-4V) имеет более высокое сопротивление коррозии по сравнению с кобальтовым сплавом и нержавеющей сталью.

Influence of the surface state on the corrosion resistance of biocompatible metallic materials

Orlov A.A., Grushin I.A., Gurkina E.D., Ivanov A.E.
MAI, Moscow, Russia

Biocompatible materials have been used in medicine for a long time and have their own advantages and disadvantages. Austenitic stainless steel implants have a high modulus of elasticity and are susceptible to pitting and crevice corrosion, especially for long-term (> 10 years) use. On the other hand, titanium-based alloys have the best biocompatibility and corrosion resistance of all the materials listed above, but their low wear resistance limits their use for articulated surfaces of such highly loaded products as hip and knee prostheses. Cobalt-based alloys have high corrosion resistance and fatigue strength and have better wear resistance compared to austenitic steels and titanium alloys. Therefore, these alloys are considered one of the best metallic materials for friction components. Nevertheless, both clinical and laboratory studies have shown that wear on the surface of rubbing pairs still exists, which is the main limitation of their durability. The release of chromium and cobalt ions into the human body is a serious problem due to their potential toxicity. In this work, we investigated the corrosion resistance of specimens of cobalt alloy Co-Cr-Mo, Ti-6Al-4V and 316L in the initial state after mechanical polishing. A comparative assessment of stationary potentials (Est) and passive state current densities (ipas) was carried out. The stationary potential of samples made of alloys based on Co-Cr-Mo cobalt, Ti-6Al-4V titanium, and 316L steel in the polished state was 50, -112, and 125 mV, respectively. Despite the fact that the Ti-6Al-4V alloy has a negative stationary potential and its passive state current is higher than that of other investigated alloys, it does not change with increasing voltage to 1500 mV, which indicates its high resistance. While the samples of cobalt-chromium alloy and 316L steel have a breakdown of the oxide film at values of 740 mV and 700 mV, respectively, which indicates their low corrosion resistance. However, it should be noted that the region of the passive state is more pronounced in the cobalt alloy. Thus, the studies carried out have shown that titanium-based alloy (Ti-6Al-4V) has a higher corrosion resistance compared to cobalt alloy and stainless steel.

Разработка технологии высокоскоростной штамповки лопаток ГТД из сплава ВТ6, с применением средств математического моделирования

Палтievич А.Р., Мельникова Д.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

Одной из самых ответственных и дорогостоящих частей ГТД являются лопатки компрессора. Лопатки подвергаются воздействию центробежной силы, изгибающему моменту и вибрациям, которые могут привести к возникновению резонансных колебаний. Высокая температура рабочей среды, оказывает дополнительное воздействие на лопатки как химически, так и механически. При изготовлении необходимо обеспечивать в лопатке требуемый уровень свойств материала - определенные механические свойства и требуемая металлическая структура.

Задачи, ставящиеся при изготовлении лопаток ГТД:

1. Разработка рационального технологического процесса, обеспечивающего формирование изделия с заранее заданным комплексом механических и эксплуатационных свойств.
2. Достижение максимально возможного коэффициента использования дорогостоящих титановых материалов. Таким образом, технология изготовления должна основываться на

применении специальных стандартов, для обеспечения требуемой точности, при назначении припусков, допусков и напусков в процессах штамповки.

Для создания поковки лопатки ГТД предлагается метод высокоскоростной штамповки. Формообразование происходит в закрытом штампе с разъемной матрицей. Преимуществом данного метода является то, что при высоких скоростях деформации значительно понижается сопротивление деформированию при одновременном возрастании пластичности, что способствует лучшему заполнению полости штампа. Процесс изготовления изделия последовательно представляет собой операцию распрессовки исходной заготовки типа прутков круглого сечения в верхней части штампа, и последующей операцией прямого выдавливания пера. Применение высокоскоростного оборудования позволяет назначать минимальные допуски на перо лопатки, при нулевых припусках на механическую обработку. Таким образом, после высокоскоростной штамповки механически обрабатывается только замковая часть, а трудоемкая операция фрезерования профиля пера отсутствует. Применение предложенного способа изготовления детали типа «лопатка» позволяет увеличить коэффициент использования материала. Высокие скорости деформирования сопровождаются дислокационным механизмом пластической деформации, приводят к разрушению исходной зёрненной структуры и образованию на её месте мелкозернистой, обеспечивающей высокие механические и эксплуатационные свойства повок лопаток ГТД.

Development of technology for high-speed stamping of GTE blades from VT6 alloy, using mathematical modeling tools

Paltievich A.R., Melnikova D.D.

MAI, Moscow, Russia

Compressor blades are one of the most critical and expensive parts of a gas turbine engine. The blades are subjected to centrifugal force, bending moment and vibration, which can lead to resonant vibrations. The high temperature of the working medium has an additional effect on the blades both chemically and mechanically. During manufacturing, it is necessary to provide the required level of material properties in the blade - certain mechanical properties and the required metal structure.

Tasks for the manufacture of GTE blades:

1. Development of a rational technological process that ensures the formation of a product with a predetermined set of mechanical and operational properties.

2. Achieving the maximum possible utilization rate of expensive titanium materials. Thus, the manufacturing technology should be based on the use of special standards to ensure the required accuracy when assigning allowances, tolerances and overlaps in stamping processes.

The method of high-speed stamping is proposed to create a forging of a GTE blade. Shaping takes place in a closed die with a split die. The advantage of this method is that at high deformation rates, the resistance to deformation is significantly reduced while the plasticity increases, which contributes to better filling of the die cavity. The manufacturing process of the product is sequentially the operation of unpressing the initial workpiece of the circular cross-section type in the upper part of the stamp, followed by the operation of direct extrusion of the pen. The use of high-speed equipment allows you to set the minimum tolerances for the blade airfoil, with zero allowances for machining. Thus, after high-speed stamping, only the locking part is mechanically processed, and the laborious operation of milling the feather profile is absent. Application of the proposed method of manufacturing a part of the "blade" type allows increasing the coefficient of material utilization. High deformation rates are accompanied by a dislocation mechanism of plastic deformation, leading to the destruction of the original grain structure and the formation of a fine-grained structure in its place, which provides high mechanical and operational properties of GTE forgings.

Способ изготовления металлических волокон для щеточных уплотнений

Патрушев А.Ю., Ярошенко А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Из множества методов получения металлических волокон, применяемых в различных областях техники, например, фрикционные материалы, катализаторы, фильтры и др., особую ценность представляет так называемый метод экстракции висящей капли расплава (ЭВКР). Изготовление металлических волокон данным способом обеспечивает высокоскоростное затвердевание материала из расплава и представляет интерес сразу по нескольким направлениям: получение волокон из широкого спектра материалов, в т.ч. из тугоплавких и активных металлов; экстракция материала вращающимся охлаждаемым теплоприемником с острозаточенной кромкой позволяет получать волокна с микрокристаллической или аморфной структурой; получения волокон проводится в среде вакуума или инертных газов бестигельным способом, что позволяет избежать включения ненужных примесей.

Одной из перспективных областей применения металлических волокон является создание щеточных уплотнений для газотурбинных двигателей.

На данный момент щеточные уплотнения изготавливаются из металлической проволоки, металлических волокон, которые крепятся в обойме под наклоном в сторону вращения между двух пластин разного диаметра. Основной проблемой применения щеточных уплотнений, с которой сталкиваются производители двигательных установок летательных аппаратов, является опасность повреждения подшипника отломавшимися в течение работы проволоками, коксование при попадании масла на щетку. Из этого к материалу для изготовления щеточных уплотнений предъявляются особые требования: сохранение упругих и прочностных свойств в интервале температур 500-750°C; сопротивление окислению, коррозии при указанных температурах; минимальный износ как самих щеточных уплотнений, так и вращающихся деталей двигателей в процессе эксплуатации. Был проведен ряд работ по выбору материала микропроволоки для щеточных уплотнений с целью определения технологических свойств. Для изготовления щетки послужил стеллит. Использование стеллита повышает упругость волокон, по сравнению с волокнами из никрома, что позволяет лучше восстанавливать форму щеточного уплотнения и отслеживать неровности на поверхности ротора. Недостатком стеллита является наличие в его структуре большого количества карбидов и силицидов. Материал обладает высокой твердостью и из него сложно получить тонкие волокна методами пластической деформации, материал очень хрупок. Для получения волокон из стеллитов перспективны методы закалки расплава, позволяющие получать волокна.

Method for manufacturing metal fibers for brush seals

Patrushev A.Y., Yaroshenko A.S.

MAI, Moscow, Russia

Of the many methods for producing metal fibers used in various fields of technology, for example, friction materials, catalysts, filters, etc., the so-called method of extraction of a hanging drop of melt is of particular value. The production of metal fibers by this method provides high-speed solidification of the material from the melt and is of interest in several areas at once: production of fibers from a wide range of materials, including refractory and active metals; extraction of the material by a rotating cooled heat receiver with a sharpened edge makes it possible to obtain fibers with a microcrystalline or amorphous structure; the fibers are obtained in a vacuum or inert gas environment by a non-burning method, which avoids the inclusion of unnecessary impurities.

One of the most promising applications of metal fibers is the creation of brush seals for gas turbine engines.

At the moment, brush seals are made of metal wire, metal fibers that are attached in the holder at an angle in the direction of rotation between two plates of different diameters. The main problem with the use of brush seals, which is faced by manufacturers of aircraft propulsion systems, is the risk of damage to the bearing broken off during operation wires, coking when oil gets on the brush.

Therefore, special requirements are imposed on the material for manufacturing brush seals: preservation of their elastic and strength properties in the temperature range of 500-750°C; resistance to oxidation and corrosion at these temperatures; minimal wear of both the brush seals themselves and rotating engine parts during operation. A number of works were carried out on the selection of microwire material for brush seals in order to determine the technological properties. Stellite was used to make the brush. The use of Stellite increases the elasticity of the fibers in comparison with nichrome fibers, which allows you to better restore the shape of the brush seal and track irregularities on the surface of the rotor. The disadvantage of Stellite is the presence of a large number of carbides and silicides in its structure. The material has a high hardness and it is difficult to get thin fibers from it by plastic deformation methods, the material is very fragile. To obtain fibers from stellites, melt quenching methods are promising, which make it possible to obtain fibers.

Специфика создания алмазосодержащего композита
Петухова О.С., Смирнова Е.А., Неруцкая А.В., Ягудин Т.Г.
МАИ, г. Москва, Россия

Алмазосодержащий слой представляет собой композицию, состоящую из алмазных зерен и связки. Учитывая существенные различия физико-механических показателей основных структурных составляющих, необходимо дифференцировано подходить к оценке износа алмазного инструмента. Предлагает рассматривать интенсивность износа круга как совокупность интенсивностей износа алмаза и связки. Придерживаясь такой постановки вопроса, рассмотрим поэлементно виды износа алмазных зерен и удерживающей их матрицы – связки. Изучение микрорезания единичным алмазным зерном показало, что режущая кромка паразит обрабатываемый материал при контактном давлении, равном, в первом приближении, давлению истечения материала. Причем удельная тангенциальная сила резания достигает максимального значения при глубинах микрорезания в несколько микрон, когда наряду со снятием стружки происходит пластическое отеснение материала. Наличие больших отрицательных передних углов и площадок трения на зернах способствует резкому увеличению сил трения и возникновению в зоне резания мгновенных температур до нескольких сотен градусов. Такие тяжелые условия работы вызывают наряду с механическим истиранием физическое и химическое взаимодействие алмаза с обрабатываемым материалом, существенно влияющее на процесс износа. Вопросы классификации видов износа алмазных зерен изучались многими авторами, как в результате исследования единичного зерна, так и круга в целом. Например, в работе определены в качестве основных видов износа зерен: хрупкий излом, истирание и химический износ. Такой же классификации придерживаются и авторы ряда других работ, однако все они указывают на выпадение (вырыв) зерна из связки как на один из значимых видов износа. Таким образом, по известным данным можно составить следующую общую классификацию видов износа алмазов: хрупкий излом, истирание, химический износ, вырыв зерна из связки.

Причем существенное влияние оказывает частичное налипание материала детали на контактирующие поверхности алмазного зерна подобно образованию нароста в обычном режущем инструменте. Следовательно, понятие химического износа необходимо рассматривать как совокупность ряда процессов, происходящих на границе алмаз-обрабатываемый материал. Некоторые авторы склонны к разделению химического износа на адгезионный и диффузионный, полагая в то же время, что эти виды износа могут проявляться как обособленно, так и в сочетании с другими видами.

Specificity of creating a diamond-containing composite
Petukhova O.S., Smirnova E.A., Nerutskaya A.V., Yagudin T.G.
MAI, Moscow, Russia

The diamond layer is a composition of diamond grains and a binder. Taking into account the significant differences in the physical and mechanical indicators of the main structural components, it is necessary to take a differentiated approach to assessing the wear of diamond tools. proposes to consider the wear rate of the wheel as a combination of the wear rates of the diamond and the bond.

Adhering to this formulation of the question, let us consider element by element the types of wear of diamond grains and the matrix holding them – the ligament. The study of microcutting with a single diamond grain showed that the cutting edge scratches the workpiece at a contact pressure equal, in the first approximation, to the material outflow pressure. Moreover, the specific tangential cutting force reaches its maximum value at microcutting depths of several microns, when, along with the removal of chips, plastic displacement of the material occurs. The presence of large negative rake angles and friction areas on the grains contributes to a sharp increase in friction forces and the emergence of instantaneous temperatures in the cutting zone up to several hundred degrees. Such difficult working conditions cause, along with mechanical abrasion, the physical and chemical interaction of diamond with the material being processed, which significantly affects the wear process. The classification of the types of wear of diamond grains has been studied by many authors, both as a result of studying a single grain and a circle as a whole. For example, the work defines the main types of grain wear as brittle fracture, abrasion and chemical wear. The authors of a number of other works adhere to the same classification, but they all point to the loss (pulling out) of grain from the bundle as one of the significant types of wear. Thus, according to the known data, it is possible to draw up the following general classification of the types of diamond wear: brittle fracture, abrasion, chemical wear, grain pulling out of the bond.

Moreover, a significant effect is exerted by the partial adhesion of the material of the part to the contacting surfaces of the diamond grain, similar to the formation of a build-up in a conventional cutting tool. Consequently, the concept of chemical wear must be considered as a combination of a number of processes occurring at the border of the diamond-processed material.

Магнитные и транспортные характеристики ВТСП лент с искусственными дефектами микронного масштаба

Покровский С.В., Абин Д.А., Савченков Д.В., Руднев И.А.
НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия

Современные технологии производства проводов и лент на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) позволяют получать высокие магнитные и токонесущие характеристики материалов. При этом, для их использования зачастую требуется не только более высокий критический ток или захваченный поток сверхпроводника, но также и однородность распределения по длине ВТСП ленты. Традиционными способами, например введением нанодобавок, решить такую задачу достаточно сложно, поскольку требуется управляемая локализация искусственных дефектов в материале, а также изменение параметров уже изготовленной промышленной ВТСП ленты.

В настоящей работе мы представляем результаты исследований возможности управления магнитными и токонесущими характеристиками ВТСП лент второго поколения с помощью создания массивов искусственных дефектов микронного диапазона. Для получения дефектов был использован пикосекундный лазер (длина волны 870 нм, длительность — 2 пс) с фокусировкой. Размер полученных дефектов варьировался от 3.5 до 14 мкм в диаметре. Воздействие производилось непосредственно на ВТСП слой ленты. В данной работе исследовались только сквозные отверстия в сверхпроводящем слое. Были исследованы конфигурации в виде треугольного массива, градиентного и конформного распределения дефектов в сверхпроводнике.

На основе данных электронной микроскопии и структурного анализа показано отсутствие деградации сверхпроводящей пленки в прилегающей области искусственного дефекта. Были проведены комплексные магнитные и электрофизические исследования исходных и модифицированных образцов. На основе моделей течения потока и вихревого пути были проведены оценки изменения силы пиннинга в сверхпроводнике. Сделан вывод о коллективном пиннинге вихревой системы при наличии дефектов микронного масштаба. Показано положительное влияние создаваемых дефектов на характеристики ВТСП ленты.

Исследование поддержано РФФИ, номер проекта 20-08-00811

Magnetic and transport characteristics of HTS tapes with micron-scale artificial defects

Pokrovskii S.V., Abin D.A., Savchenkov D.V., Rudnev I.A.

MEPhI, Moscow, Russia

Modern technologies for the wires and tapes production based on high-temperature superconductors (HTS) make it possible to obtain high magnetic and current-carrying characteristics of materials. Moreover, their use often requires not only a higher critical current or trapped magnetic field, but also a uniform distribution along the length of the HTS tape. It is rather difficult to solve such a problem by traditional methods, for example, the introduction of nanoadditives, since a controlled localization of artificial defects in the material is required, as well as a change in the parameters of an already manufactured industrial HTS tapes.

In this report, we present the results of studies the possibility of controlling tune magnetic and current-carrying characteristics of second-generation HTS tapes by creating arrays of artificial defects in the micron range. To obtain defects, a picosecond laser (wavelength 870 nm, duration 2 ps) with focusing was used. The size of the resulting defects varied from 3.5 to 14 μm in diameter. The action was carried out directly on the HTS layer of the tape. In this work, only through holes in the superconducting layer were investigated. Configurations in the form of a triangular array, gradient and conformal distribution of defects in a superconductor were investigated.

Based on the data of electron microscopy and structural analysis, the absence of degradation of the superconducting film in the adjacent area of the artificial defect is shown. Complex magnetic and electrophysical studies of the pristine and modified samples were carried out. On the basis of the flow and vortex path models, the changes in the pinning force in the superconductor were estimated. A conclusion is made about the collective pinning behavior of the vortex system in the presence of micron-scale defects. The positive influence of the created defects on the characteristics of the HTSC tape is shown.

The reported study was funded by RFBR, project number 20-08-00811.

Влияние иттрия на коррозионную стойкость бинарного сплава Mg-Y

Савостин Д.С., Соловьёв А.С., Гуреев И.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время потребление магния и сплавов на его основе активно растёт, так как более лёгкий вес конечных изделий важен для экономии топлива и энергии, создания новых биомедицинских материалов и производства портативной электроники. Магниевые сплавы хорошо поддаются механической обработке, литью под давлением, немагнитны и обладают способностью поглощать вибрации и удары. Однако одним из факторов, накладывающих ограничения на использование магния, является высокая скорость коррозии в водной среде. Одним из возможных способов повышения коррозионных свойств магниевых сплавов может являться применение иттрия в качестве легирующего элемента. Влияние иттрия на коррозионные свойства магниевых сплавов на данный момент активно изучается.

Влияние иттрия на коррозионные свойства двойного сплава Mg-Y может быть различным в зависимости от его процентного содержания и коррозионной среды, в которой находится сплав. Так, в 1 % растворе NaCl скорость коррозии возрастает с увеличением содержания Y, что объясняется повышением количества интерметаллида, содержащего итрий. В тоже время коррозионная стойкость сплава Mg-Y в 1 % растворе Na₂SO₄ может быть повышена за счёт добавок иттрия. Наличие Y может приводить к формированию защитной плёнки на поверхности сплава, что обеспечивает лучшую защиту от коррозии. При этом коррозионная стойкость сплава возрастает при увеличении содержания иттрия в диапазоне от 3-7 масс.%, даже не смотря на присутствие Y-содержащего интерметаллида.

Однако коррозионные свойства сплава Mg-Y также могут сильно изменяться в зависимости от использованной технологии производства. В частности магнитронное распыление позволяет получить сплав поверхностной плёночной, насыщенной иттрием, без включений Y-содержащей интерметаллидной фазы. Благодаря этому наблюдается значительный рост коррозионной стойкости магниевых сплавов.

На примере сплава Mg-Y показано, что иттрий может оказывать как негативное, так и положительное влияние на коррозионную стойкость магниевого сплава. В частности, образование интерметаллидов магния и иттрия, может стать причиной повышенной скорости протекания микрогальванической коррозии. В тоже время присутствие иттрия в поверхностном слое повышает коррозионную стойкость поверхности. Также необходимо отметить, что методика изготовления сплава оказывает большое влияние на коррозионные свойства.

Influence of yttrium on the corrosion resistance of the binary alloy Mg-Y

Savostin D.S., Solovyov A.S., Gureev I.I.

MAI, Moscow, Russia

Currently, the consumption of magnesium and magnesium-based alloys is actively growing, since the lighter weight of the final products is important for saving fuel and energy, creating new biomedical materials, and manufacturing portable electronics. Magnesium alloys are highly machinable, injection molded, non-magnetic and have the ability to absorb vibration and shock. However, one of the factors limiting the use of magnesium is the high corrosion rate in aqueous media. One of the possible ways to improve the corrosion properties of magnesium alloys can be the use of yttrium as an alloying element. The effect of yttrium on the corrosion properties of magnesium alloys is currently being actively studied.

The effect of yttrium on the corrosion properties of the Mg-Y binary alloy can be different depending on its percentage and the corrosive environment in which the alloy is located. Thus, in a 1% NaCl solution, the corrosion rate increases with an increase in the Y content, which is explained by an increase in the amount of an intermetallic compound containing yttrium. At the same time, the corrosion resistance of the Mg-Y alloy in a 1% Na₂SO₄ solution can be increased by adding yttrium. The presence of Y can lead to the formation of a protective film on the surface of the alloy, which provides better protection against corrosion. In this case, the corrosion resistance of the alloy increases with an increase in the yttrium content in the range from 3-7 mass%, even in spite of the presence of a Y-containing intermetallic compound.

However, the corrosive properties of the Mg-Y alloy can also vary greatly depending on the manufacturing technology used. In particular, magnetron sputtering will make it possible to obtain an alloy with a surface film saturated with yttrium, without inclusions of the Y-containing intermetallic phase. Due to this, a significant increase in the corrosion resistance of the magnesium alloy is observed.

Using the example of an Mg-Y alloy, it is shown that yttrium can have both a negative and a positive effect on the corrosion resistance of a magnesium alloy. In particular, the formation of intermetallic compounds of magnesium and yttrium can cause an increased rate of microgalvanic corrosion. At the same time, the presence of yttrium in the surface layer increases the corrosion resistance of the surface. It should also be noted that the alloy manufacturing technique has a great influence on the corrosion properties.

Аддитивное производство изделий из высокоэффективной керамики

Стонов Н.М.

ЭНЕРГОАВАНГАРД, г. Москва, Россия

Темпы внедрения аддитивных технологий на отечественные предприятия увеличиваются с каждым годом, а сами технологии становятся все более изученными и понятными. В основном это относится к изготовлению изделий из металла и пластика. Однако про аддитивное производство изделий из керамики мало кому известно в России, несмотря на то, что это направление активно развивается за рубежом и пользуется большим спросом.

Основной целью доклада является ознакомление с технологией LCM (Lithography-based Ceramic Manufacturing) – производством изделий из керамики методом послойного синтеза, а также возможными сферами ее применения.

Процесс изготовления заключается в следующем: CAD-модель изделия в специальном программном обеспечении разрезается на 2D-слои и отправляется в систему послойного синтеза. С помощью системы подачи материала керамическая суспензия (смесь

керамического порошка и связующего на основе фотополимера) поступает в ванну, где равномерно распределяется по поверхности с помощью рекоутера. Далее платформа построения опускается в ванну до полного соприкосновения. Снизу находится проектор ультрафиолетового излучения, который выборочно засвечивает сечение САD-модели до момента фотополимеризации суспензии. Затем платформа поднимается, суспензия заново разравнивается с помощью рекоутера, платформа построения опускается и процесс повторяется до полного выращивания изделия.

Полученная «green-модель» в дальнейшем проходит традиционные этапы постобработки: сушка, дебайнинг (удаление связующего) и спекание для уплотнения керамических частиц и получения требуемых характеристик конечно изделия.

Основными преимуществами данной технологии является получение изделий со сложной геометрией, которые нельзя получить традиционными методами. Речь идет о сетчатых структурах, внутренних каналах и отверстиях до 0.50 мм, тонких стенках до 0.10 мм, элементов сложной конфигурации, а также достижение точности изготовления до 20-40 мкм. При этом нет необходимости изготавливать дорогостоящую оснастку, что значительно снижает себестоимость продукции. В итоге время на проведение НИР и НИОКР сокращается в разы, что позволяет выводить на рынок инновационную конкурентоспособную продукцию в кратчайшие сроки.

Additive manufacturing of high-performance ceramics

Sgonov N.M.

ENERGOAVANGARD, Moscow, Russia

The rate of introduction of additive technologies at domestic enterprises is increasing every year, and the technologies themselves are becoming more studied and understandable. This mainly applies to the manufacture of metal and plastic products. However, few people in Russia know about the additive production of ceramics, despite the fact that this direction is actively developing abroad and is in great demand.

The main purpose of the report is to get acquainted with the LCM (Lithography-based Ceramic Manufacturing) technology – the production of ceramic products by layer-by-layer synthesis, as well as possible areas of its application.

The manufacturing process is as follows: the CAD model of the product is cut into 2D layers in special software and sent to the layer-by-layer synthesis system. With the help of the material supply system, the ceramic suspension (a mixture of ceramic powder and a binder based on a photopolymer) enters the bath, where it is evenly distributed over the surface using a recoater. Next, the build platform is lowered into the bath until it touches completely. Below there is an ultraviolet radiation projector, which selectively illuminates the cross section of the CAD model until the suspension is photopolymerized. Then the platform is raised, the slurry is re-leveled with the recoater, the build platform is lowered and the process is repeated until the product is fully grown.

The resulting "green-model" further goes through the traditional stages of post-processing: drying, debinding (removal of the binder) and sintering to compact the ceramic particles and obtain the required characteristics of the final product.

The main advantages of this technology are the production of products with complex geometries that cannot be obtained by traditional methods. We are talking about mesh structures, internal channels and holes up to 0.50 mm, thin walls up to 0.10 mm, elements of complex configuration, as well as achieving manufacturing accuracy up to 20-40 microns. At the same time, there is no need to manufacture expensive tooling, which significantly reduces the production cost. As a result, the time spent on research and development and R&D is reduced significantly, which makes it possible to bring innovative competitive products to the market in the shortest possible time.

Сухая, бездефектная резонансная обработка сверхтвердых материалов

Сильченко О.Б., Максимова А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Международная выставка, прошедшая в Экспо-центре «Красная Пресня» под названием «Высокие технологии, оптика, лазерная техника, электроника», показала дальнейший рост требований к качеству изделий, входящих в состав современных аппаратов и приборов. При этом особое значение придается качеству обработки поверхностей минералов, в том числе из карбида кремния, алмаза используемых в микроэлектронике при изготовлении подложек интегральных микросхем, в том числе солнечных батарей; в полупроводниковой отрасли для производства светоизлучающих диодов высокой яркости, используемых в светотехнических приборах, которые позволяют до 85% экономить электроэнергию и служат до 10 раз дольше ламп накаливания.

Чтобы получить указанные результаты, шероховатость поверхности изделий из этих минералов должна находиться в диапазоне от 1 до 15 нанометров.

В настоящее время в России указанную шероховатость получают шлифованием с последующим полированием и травлением в агрессивных средах. При этом на финишных операциях создают особые стерильные условия.

Следующим этапом после создания требуемой нанометровой шероховатости на подложках микросхем, является эпитаксия – создание гетероструктурных слоёв, толщина которых также составляет десятки нанометров. Это указывает на то, что качество эпитаксии находится в прямой зависимости от качества поверхности подложки и в целом определяет эксплуатационные характеристики микросхем.

Существующие технологии позволяют наносить эпитаксию только с одной стороны подложки. При двухсторонней эпитаксии к.п.д. микросхем увеличивается в разы. Однако существующие технологии не позволяют это реализовать на практике.

Современные технологии изготовления подложек микросхем являются дорогостоящими в силу большой их трудоёмкости и невысокого процента выхода годной продукции.

В настоящее время на ООО НПЦ «Грань», сохранило и продолжило работы по созданию шлифовального технологического комплекса с системой числового программного управления для реализации процесса формообразования на особо хрупких и сверхтвердых материалах сложнопрофильных поверхностей с нанометровым микрорельефом.

Создание указанного комплекса является насущной необходимостью, поскольку решает важные стратегические задачи получения подложек интегральных микросхем, на которые можно будет наносить эпитаксию с двух сторон, что в несколько раз увеличивает эксплуатационные показатели микросхем по сравнению с односторонним слоем.

Dry, defect-free resonance processing of superhard materials

Silchenko O.B., Maksimova A.A.

MAI, Moscow, Russia

The international exhibition, held at the Krasnaya Presnya Expo Center under the title High Technologies, Optics, Laser Technology, Electronics, showed a further increase in the requirements for the quality of products that are part of modern devices and devices. At the same time, special importance is attached to the quality of surface treatment of minerals, including silicon carbide and diamond used in microelectronics in the manufacture of integrated circuit substrates, including solar cells; in the semiconductor industry, for the production of high-brightness light-emitting diodes used in lighting devices that save up to 85% of electricity and last up to 10 times longer than incandescent lamps

To obtain these results, the surface roughness of products made from these minerals must be in the range from 1 to 15 nanometers.

Currently, in Russia, the specified roughness is obtained by grinding, followed by polishing and etching in aggressive environments. At the same time, special sterile conditions are created for finishing operations.

The next step after creating the required nanometer roughness on the microchip substrates is epitaxy – creating heterostructural layers that are also tens of nanometers thick. This indicates that the quality of epitaxy is directly dependent on the quality of the substrate surface and generally determines the performance characteristics of the chips.

Existing technologies allow you to apply epitaxy only on one side of the substrate. With two-way epitaxy, the efficiency of microchips increases significantly. However, existing technologies do not allow this to be implemented in practice.

Modern technologies for manufacturing microchip substrates are expensive due to their high labor intensity and low percentage of yield of usable products.

At present, LLC SPC "Gran" has maintained and continued work on the creation of a grinding technological complex with a numerical control system for the implementation of the forming process on particularly brittle and superhard materials of complex surfaces with nanometer microrelief.

The creation of this complex is an urgent need, since it solves important strategic tasks of obtaining integrated circuit substrates that can be applied epitaxy on both sides, which increases the performance of the chips several times compared to a single-sided layer.

Исследование физико-механических свойств композиционного материала на основе карбида кремния DIARSIC в сравнении с американскими образцами HEXOLOU

Сильченко О.Б., Хопин П.Н., Василенко Ю.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Керамика на основе карбида кремния – это кристаллический материал, свойства которого зависят от микроструктуры и технологии изготовления. Для получения высокопрочной и износостойчивой структуры используются порошки высокой степени чистоты.

В то же время для получения особо мало изнашиваемых материалов применяются иные составы и технологии, структура этих материалов равномерная, но с порами, позволяющими нести в себе смазывающие фракции.

Материал DIARSIC имеет высокую концентрацию локальных областей разгрузки энергии трещин, которые образуются в произвольных точках материала, где термоупругие напряжения достигают критических значений. После этого разгрузки развитие трещины прекращается.

С другой стороны, структура HEXOLOU высоко гомогенна, упругая энергия, сосредоточенная в переднем краю трещины, не проходит через области разгрузки, так что трещина быстро развивается по всей длине образца и разрушает его.

Теплопроводность образца DIARSIC ниже, чем у HEXOLOU менее чем на 25%. Эта разница может быть объяснена более высокой конечной температурой нагрева образца DIARSIC и общеизвестным фактом, что теплопроводность керамик типа SiC понижается с ростом температуры.

Полученные результаты показывают, что при аналогичных условиях теплопроводность материалов HEXOLOU и DIARSIC близки. Когда измеряется временной интервал с самого начала нагрева, логарифм отношения температур теплового и холодного концов всех образцов близок к линейной зависимости, чем в случае с временем окончания нагрева.

Эти зависимости логарифма температуры от времени более близки к линейной, при нагреве от повышенной температуры, до температуры после которой теплопроводность изменяется незначительно.

Investigation of physical and mechanical properties of a composite material based on silicon carbide DIARSIC in comparison with American HEXOLOU samples

Silchenko O.B., Hopin P.N., Vasilenko Yu.D.

MAI, Moscow, Russia

Silicon carbide – based ceramics are a crystalline material whose properties depend on the microstructure and manufacturing technology. To obtain a high-strength and wear-resistant structure, high-purity powders are used.

At the same time, other compositions and technologies are used to obtain particularly low-wear materials. The structure of these materials is uniform, but with pores that allow them to carry lubricating fractions.

The DIARSIC material has a high concentration of local crack energy discharge regions, which are formed at arbitrary points in the material where thermoelastic stresses reach critical values. After this unloading, the crack development stops.

On the other hand, the HEXOLOY structure is highly homogeneous, and the elastic energy concentrated at the leading edge of the crack does not pass through the discharge regions, so the crack quickly develops along the entire length of the sample and destroys it.

The thermal conductivity of the DIARSIC sample is less than 25% lower than that of HEXOLOY. This difference can be explained by the higher final heating temperature of the DIARSIC sample and the well-known fact that the thermal conductivity of SiC-type ceramics decreases with increasing temperature.

The results show that the thermal conductivity of HEXOLOY and DIARSIC materials is similar under similar conditions. When the time interval from the very beginning of heating is measured, the logarithm of the ratio of the temperatures of the warm and cold ends of all samples is close to a linear relationship than in the case of the end time of heating.

These dependences of the logarithm of temperature on time are closer to linear, when heated from an elevated temperature, to a temperature after which the thermal conductivity changes slightly.

Анализ условий работы изделий из синтетического корунда в гидравлических системах управления и силовых приводах

Симаков А.Л., Пузанов А.В., Косорукова О.В., Котов В.В.

КГТА, г. Ковров, Россия

Гидравлические компоненты систем управления и силовых приводов функционируют в различных условиях эксплуатации и, соответственно, к ним предъявляются различные требования.

Силовая гидравлика взаимодействует с объектом или внешней средой. На гидравлический привод и его элементы оказывают воздействия силовые факторы, вибрация, температура и т.п. Все воздействия характеризуются высокой степенью неопределенности, большим диапазоном возможных значений, их собственной взаимозависимостью и влиянием на внутренние процессы в гидроприводах.

Гидравлика систем управления, как правило, изолируется от внешней среды, на нее в меньшей степени оказывают влияние внешние факторы. Но к компонентам системы управления предъявляются более жесткие требования по точности и чувствительности (особенно для следящих систем).

Повысить КПД, в частности, объемный КПД практически до 100%, возможно за счет применения в трибопарах деталей из синтетического корунда – лейкосапфира. За счет его низкого коэффициента трения возможно увеличить относительные скорости сопряженных пар, тем самым повысить характеристики мощности. Повышение КПД гидравлических устройств, их малая чувствительность к перепадам температур, позволяет снизить площадь корпусных деталей, а, следовательно, их габариты и массу.

Применение безззорных золотников с низким коэффициентом трения и малой чувствительностью к изменению температуры позволит повысить характеристики чувствительности, расширить рабочий температурный диапазон и снизить гистерезис характеристик гидравлических систем управления, что особенно актуально для следящих систем.

Для силовых элементов гидропривода эти же преимущества лейкосапфира позволят снизить площадь корпусных деталей, а, следовательно, их габариты и массу. За счет его низкого коэффициента трения возможно увеличить относительные скорости сопряженных пар, тем самым повысить характеристики мощности. Все это должно отразиться в повышении показателя удельной мощности гидропривода в целом, что является конкурентным

преимуществом в приводах мобильной (и беспилотной) техники, летательных аппаратов и т.п.

Эти предположения уже нашли отражение в практической реализации – в насосах-дозаторах фармакологической отрасли.

Analysis of functioning of parts from synthetic corundum in hydraulic control systems and power drives

Simakov A.L., Puzanov A.V., Kosorukova O.V., Kotov V.V.
KSTA, Kovrov, Russia

The hydraulic components of control systems and power drives operate in different operating conditions and have different requirements.

Power hydraulics interacts with an object or the external environment. The hydraulic drive and its components are influenced by force factors, vibration, temperature, etc. All impacts are characterized by a high degree of uncertainty, a wide range of possible values, their own interdependence and influence on internal processes in hydraulic drives.

The hydraulics of the control systems are isolated from the external environment and are less influenced by external factors. But the components of the control system are subject to more stringent requirements for accuracy and sensitivity (especially for tracking systems).

It is possible to increase the efficiency, in particular, the volumetric efficiency almost to 100%, by using parts (tribopairs) made of synthetic corundum - leucosapphire. Due to its low coefficient of friction, it is possible to increase the relative speeds of mating pairs, thereby increasing the power characteristics. Increasing the efficiency of hydraulic devices, their low sensitivity to temperature extremes, makes it possible to reduce the area of body parts, and, consequently, their dimensions and weight.

The use of backlash-free spools with a low coefficient of friction and low sensitivity to temperature changes will increase the sensitivity characteristics, expand the operating temperature range and reduce the hysteresis of the characteristics of hydraulic control systems.

For power elements of a hydraulic drive, the same advantages of leucosapphires will reduce the area of body parts, their dimensions and weight. By means of a low coefficient of friction, the relative velocities of the mating pairs can be increased and the power characteristics improved. All this increases the specific power of the hydraulic drive, which is a competitive advantage in the drives of mobile (and pilotless) equipment, aircraft, etc.

These assumptions have already been reflected in practical implementation - in dosing pumps of the pharmaceutical industry.

Проблемы автоматизации функционального контроля СБИС памяти и методы их решения

Смирнов К.К., Блинов В.В., Назаров А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В докладе рассмотрены причины малой эффективности актуальных методов обнаружения скрытых дефектов в СБИС сверхоперативной памяти. Первая причина заключается в постоянном упрощении стандартов технологического проектирования. Вторая причина состоит в том, что актуальные системы функционального тестирования СБИС памяти не имеют возможности выявлять скрытые дефекты СБИС в режиме реального времени. Третьей причиной является недостаточная эффективность современных «маршевых» тестов, которые наиболее популярны в тестировании СБИС памяти.

В рамках доклада предложен комплексный подход к тестированию разных типов СБИС памяти. Основная мысль заключается в совокупности топологической и математической моделями тестируемой СБИС. Именно совокупность этих моделей исключает первые две причины малой эффективности методов тестирования микросхемы. Аппаратно-программный комплекс Functional Test Studio[1,2], который способен реализовать предлагаемый подход, обеспечивает формирование единой информационной среды на основе оригинального аппаратно-ориентированного языка описания алгоритмов функциональных тестов STeEL[3].

Для того, чтобы нивелировать третью причину, в составе аппаратно-программного комплекса был создан специальный компонент «Мемогу», который, позволяет генерировать функциональные тесты любой сложности. Этот компонент способен, используя небольшой набор инструкций сгенерировать тест памяти для любых целей. В результате этого, время, затрачиваемое на тестирование СБИС и запуск их в производство значительно сокращается.

Литература:

1. Smirnov K.K., Nazarov A.V., Blinov V.V. "Methods of Automated Test Solutions Design for VLSI Testing." 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (2020). IEEE, ISBN: 978-1-7281-4772-7

2. K.K. Smirnov, A.V. Nazarov, M.N. Ushkar, V.V. Blinov. Methods of detecting latent defects in cells of the super-operative memory of microcircuits used in the digital signal processing system. «2020 System of signals generating and processing in the field of on board communications». IEEE, ISBN: 978-1-7281-4772-7

3. K.K. Smirnov, A.V. Nazarov, M.N. Ushkar. Automatic localization method for VLSI topology errors at the stage of functional control Int. J. Nanotechnol Vol 16, Nos. 6/7/8/9/10, 2019

Integrated circuit memory problems and methods for their solution

Smirnov K.K., Blinov V.V., Nazarov A.V.

MAI, Moscow, Russia

The report discusses the reasons for the low efficiency of current methods for detecting hidden defects in VLSI super-operative memory. The first is the ongoing simplification of process design standards. The second reason is that current systems of functional testing of VLSI memory do not have the ability to detect hidden defects in VLSI in real time. The third reason is the insufficient efficiency of modern "marching" tests, which are most popular in testing VLSI memory.

Within the framework of the report, an integrated approach to testing different types of VLSI memory is proposed. The main idea is the combination of the topological and mathematical models of the tested VLSI. It is the combination of these models that excludes the first and second reasons for the low efficiency of microcircuit testing methods. The hardware-software complex Functional Test Studio[1,2], which is able to implement the proposed approach, provides the formation of a unified information environment based on the original hardware-oriented language for describing algorithms for functional tests Steel[3].

In order to neutralize the third reason, a special component "Memory" was created as part of the hardware-software complex, which allows generating functional tests of any complexity. This component is able, using a small set of instructions, to generate a memory test for any purpose. As a result, the time spent on testing VLSI and launching them into production is significantly reduced.

References:

1. Smirnov K.K., Nazarov A.V., Blinov V.V. "Methods of Automated Test Solutions Design for VLSI Testing." 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (2020). IEEE, ISBN: 978-1-7281-4772-7

2. K.K. Smirnov, A.V. Nazarov, M.N. Ushkar, V.V. Blinov. Methods of detecting latent defects in cells of the super-operative memory of microcircuits used in the digital signal processing system. «2020 System of signals generating and processing in the field of on board communications». IEEE, ISBN: 978-1-7281-4772-7

3. K.K. Smirnov, A.V. Nazarov, M.N. Ushkar. Automatic localization method for VLSI topology errors at the stage of functional control Int. J. Nanotechnol Vol 16, Nos. 6/7/8/9/10, 2019

Особенности износа алмазосодержащего композита

Смирнова Е.А., Петухова О.С., Ягудин Т.Г., Неруцкая А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В связи с широким использованием различных марок синтетических алмазов большое значение имеет дифференцированный подход к оценке их износостойкости при резании обрабатываемого материала. Изменение в достаточно широких пределах физико-механических и геометрических характеристик марок синтетических алмазов определяет при одних и тех же условиях разную интенсивность износа, а также вид износа

При характеристике явлений, происходящих в зоне резания при шлифовании, отмечалось, что связка подвержена износу со стороны обрабатываемого материала, как через абразивную среду продуктов износа, так и путем непосредственного контакта отдельных участков. Износ связки через промежуточную среду наиболее полно изучен применительно к исследованиям износостойкости алмазно-бурового инструмента. При этом важно отметить предложенный им механизм избирательного воздействия алмазной среды на структурно-неоднородные материалы. Вопросы непосредственного контакта связки с обрабатываемым материалом при трении металлических и органических связок по твердому сплаву, стеклу, стали в некоторой мере изучены в работах. Перечисленные виды износа связки объединяются в понятие механического макроизноса, во многом определяющего самозатачивание алмазного инструмента. Однако не следует забывать о таком моменте, как схватывание связки с обрабатываемым материалом в результате протекания диффузионного и адгезионного процессов на свежееобнаженных тлущихся поверхностях. Некоторые исследователи рассматривают износ алмазных зерен и связки в совокупности, подменяя понятие износа понятием удельного расхода. Такая тенденция не способствует раскрытию механизма износа алмазного инструмента. Наоборот, износ алмазосносного слоя инструмента следует рассматривать лишь на основе всестороннего изучения износа связки и алмазных зерен, поскольку при одних и тех же условиях шлифования он в значительной степени зависит от прочности алмазов и степени их закрепления в связке.

Прочность зерен алмазного порошка обычно характеризуют по их способности сопротивляться разрушению под действием статической или динамической нагрузки. Алмазные порошки, как и абразивы, неоднородны по прочности. Эта неоднородность вызывается различием размеров, кристаллографической ориентацией, материалом самих зерен. Увеличение прочности используемых алмазных зерен при шлифовании труднообрабатываемых материалов, как правило, ведет к повышению работоспособности инструмента.

Features of wear of a diamond-containing composite

Smirnova E.A., Petukhova O.S., Yagudin T.G., Nerutskaya A.V.
MAI, Moscow, Russia

Changes in the physicomachanical and geometric characteristics of synthetic diamond grades within a fairly wide range determine, under the same conditions, different wear rates, as well as the type of wear

When characterizing the phenomena occurring in the cutting zone during grinding, it was noted that the bond is subject to wear on the part of the processed material, both through the abrasive environment of the wear products and through direct contact of individual areas. The wear of the bond through the intermediate medium has been most fully studied in relation to studies of the wear resistance of diamond drilling tools. At the same time, it is important to note the mechanism proposed by him for the selective action of the diamond medium on structurally inhomogeneous materials. The issues of direct contact of the bond with the processed material during friction of metallic and organic bonds against hard alloy, glass, steel have been studied to some extent in the works. The listed types of bond wear are combined into the concept of mechanical macro-wear, which largely determines the self-sharpening of diamond tools. However, one should not forget about such a moment as the setting of the bond with the processed material as a result of diffusion and adhesion processes on freshly exposed rubbing surfaces. Some researchers consider the wear of diamond grains and bonds in aggregate, replacing the concept of wear with the concept of specific consumption. This tendency does not contribute to the disclosure of the wear mechanism of diamond tools. On the contrary, the wear of the diamond-bearing layer of the tool should be considered only on the basis of a comprehensive study of the wear of the bond and diamond grains, since under the same grinding conditions it largely depends on the strength of the diamonds and the degree of their fixation in the bond.

The strength of diamond powder grains is usually characterized by their ability to resist fracture under static or dynamic loading. Diamond powders, like abrasives, are not uniform in strength. This

inhomogeneity is caused by the difference in size, crystallographic orientation, material of the grains themselves. An increase in the strength of the used diamond grains when grinding difficult-to-machine materials, as a rule, leads to an increase in the performance of the tool.

Влияние геометрии шейки эндопротеза тазобедренного сустава на скорость образования продуктов износа

Соловьёв А.С., Савостин Д.С., Петухова О.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Тазобедренный сустав представляет собой шарнир, образованный головкой бедренной кости и вертлужной впадиной подвздошной кости. Такая конструкция позволяет обеспечивать три степени свободы. В результате старения или травм данного сустава человек может потерять способность передвигаться.

Износ является главной причиной досрочного выхода протеза из строя, что создает необходимость проведения ревизионного эндопротезирования. Согласно данным из Швеции, Норвегии и Австралии главной причиной этого является остеолит. Это явление представляет собой разрушение костной ткани, вызвано присутствием продуктов износа импланта и ответственно за более чем 52% случаев ревизионного эндопротезирования.

Источником продуктов износа является в первую очередь пара трения, состоящая из головки бедренной части импланта и чаши вертлужной впадины. Однако недавние исследования показывают, что источником также может являться место соединения головки и шейки.

Существует несколько факторов, влияющих на скорость износа в области контакта шейки и головки импланта. Среди них можно выделить состояние соединяемых поверхностей, диаметр головки, форму сечения шейки и степень сужения непосредственно в области контакта с головкой.

Последние исследования показывают, что в общем случае применение шейки круглого сечения позволяет снизить количество частичек износа. Возможной причиной является снижение по сравнению с шейками с трапециевидальным сечением жесткость в разных направлениях приложения нагрузки. Менее жесткое поведение шейки может привести к снижению трения в области соединения шейки и головки, что напрямую уменьшает скорость образования продуктов износа.

Степень сужения шейки в области контакта с головкой влияет на величину контактного давления и, следовательно, на степень смещения этих двух элементов относительно друг друга. Меньшие степени сужения коррелируют с большим контактным давлением и меньшей величиной смещения. Можно с уверенностью говорить о том, что высокое контактное давление позволяет снизить подвижность данного соединения и скорость образования продуктов износа.

Значительный интерес представляет дальнейшее изучение вопроса о параметрах геометрии эндопротеза тазобедренного сустава с помощью компьютерного моделирования, испытаний новых его конструкций и клинические исследования.

Influence of the geometry of the neck of the hip joint endoprosthesis on the rate of formation of wear products

Solovyov A.S., Savostin D.S., Petukhova O.S.

MAI, Moscow, Russia

The hip joint is the joint formed by the head of the femur and the acetabulum of the ilium. This design allows for three degrees of freedom. As a result of aging or injury to this joint, a person can lose the ability to move.

Wear is the main reason for early failure of the prosthesis, which creates the need for revision arthroplasty. According to data from Sweden, Norway and Australia, osteolysis is the main cause. This phenomenon is a destruction of bone tissue caused by the presence of implant wear products and is responsible for more than 52% of revision arthroplasty cases.

The source of wear products is primarily a friction pair consisting of the head of the femoral part of the implant and the cup of the acetabulum. However, recent research suggests that the junction of the head and neck may also be the source.

There are several factors affecting the rate of wear in the area of contact between the neck and the head of the implant. Among them, one can distinguish the state of the surfaces to be joined, the diameter of the head, the shape of the neck section and the degree of narrowing directly in the area of contact with the head.

Recent studies show that, in general, the use of a round neck reduces the amount of wear particles. A possible reason is the reduced stiffness in different directions of load application in comparison with trapezoidal necks. Less stiff neck behavior can result in less friction at the neck-to-head junction, which directly reduces the rate of wear.

The degree of neck constriction in the area of contact with the head affects the amount of contact pressure and, therefore, the degree of displacement of the two elements relative to each other. Smaller degrees of constriction correlate with greater contact pressure and less displacement. It is safe to say that high contact pressure reduces the mobility of this compound and the rate of formation of wear products.

Further study of the parameters of the geometry of the hip joint endoprosthesis using computer modeling, testing of its new designs and clinical studies is of considerable interest.

Влияние армирования на свойства композиционного материала углепластик – никелид титана

Сперанский К.А., Виноградов Р.Е., Борисова О.А., Алейкина К.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время все большее применение в различных областях промышленности и медицины находят композиционные материалы, обладающие особыми физико-механическими свойствами. Особый интерес представляют композиционные материалы (КМ): матрица из углепластика обеспечивает конструкционную прочность, а в качестве армирующего элемента используется никелид титана, который обладает сверхупругими свойствами.

Образцы КМ в виде пластин размером 25×200 мм получали с помощью двух внутренних слоев направленного угольного волокна и двух внешних слоев из угольного препрега. Проволоку из никелида титана в сверхупругом состоянии в количестве 6 или 12 штук располагали в среднем слое КМ.

Испытания проводили при комнатной температуре по схеме трехточечного изгиба с базой 100 мм. Образцы подвергали циклическому нагружению и разгрузению с увеличением прогиба на 1-2 мм в каждом цикле. Испытание заканчивали при разрушении образца или при образовании дефектов, которые сопровождалось резким уменьшением нагрузки.

Для образцов без армирования до прогиба на 1112 мм характерно линейное упругое поведение. При этом эффективное напряжение составило 190 МПа. Следует отметить, что у неармированных образцов после достижения максимальной нагрузки был слышен треск, свидетельствующий о происходящих процессах нарушения целостности композитного материала.

Образцы, армированные проволокой, обладают более высокой жесткостью и деформирующими усилиями, а отклонение от линейности у них наблюдается при несколько меньших прогибах, что косвенно свидетельствует о проявлении некоторых сверхупругих свойств. У армированных образцов также отмечался «треск» в момент достижения максимальных значений нагрузки, указывающий на внутреннее растрескивание слоев углеволокна. После превышения максимальной нагрузки происходит разрушение углепластиковой матрицы, характеризующееся ее значительным расслоением.

С увеличением объемной доли армирующей проволоки, жесткость образцов и максимальная нагрузка линейно возрастают, а прогибы, характерные для максимального нагружения и максимальной упругой деформации снижаются. При этом эффективные напряжения возрастают до 230 МПа и 335 МПа у образцов с шестью и двенадцатью

проволоками. Таким образом, проведенные расчеты показывают, что при армировании углеродистого пластика проволокой из никелида титана происходит повышение не только жесткости и прочности, но и деформационных характеристик.

Influence of reinforcement on the properties of a composite material carbon fiber-reinforced plastic - titanium nickelide

Speransky K.A., Vinogradov R.E., Borisova O.A., Aleikina K.V.
MAI, Moscow, Russia

At present, composite materials with special physical and mechanical properties are increasingly used in various fields of industry and medicine. Composite materials (CM) are of particular interest: a carbon fiber matrix provides structural strength, and titanium nickelide, which has superelastic properties, is used as a reinforcing element.

CM samples in the form of plates with a size of 25×200 mm were obtained using two inner layers of directed carbon fiber and two outer layers of carbon prepreg. A superelastic titanium nickelide wire in the amount of 6 or 12 pieces was placed in the middle layer of the CM.

The tests were carried out at room temperature according to the three-point bending scheme with a base of 100 mm. The samples were subjected to cyclic loading and unloading with an increase in deflection by 1–2 mm in each cycle. The test was terminated when the sample was destroyed or when defects were formed, which were accompanied by a sharp decrease in the load.

Samples without reinforcement up to a deflection of 1112 mm are characterized by linear elastic behavior. The effective stress was 190 MPa. It should be noted that in unreinforced samples, after reaching the maximum load, a crackling sound was heard, indicating the ongoing processes of violation of the integrity of the composite material.

Specimens reinforced with wire have a higher stiffness and deforming forces, and their deviation from linearity is observed at slightly smaller deflections, which indirectly indicates the manifestation of some superelastic properties. Reinforced specimens also had a “crackle” sound when the load reached its maximum value, indicating internal cracking of the carbon fiber layers. After exceeding the maximum load, the destruction of the carbon fiber matrix occurs, characterized by its significant stratification.

With an increase in the volume fraction of the reinforcing wire, the rigidity of the samples and the maximum load increase linearly, and the deflections characteristic of the maximum loading and maximum elastic deformation decrease. In this case, the effective stresses increase to 230 MPa and 335 MPa for specimens with six and twelve wires. Thus, the calculations show that when reinforcing carbon fiber with a titanium nickelide wire, not only the rigidity and strength, but also the deformation characteristics increase.

Внедрение технологии послойного выращивания изделий из жаропрочной стали с помощью электронного луча

Старков И.Н., Рожков К.А.
ПНИТУ, г. Пермь, Россия

Процесс электронно-лучевой аддитивной наплавки происходит следующим образом: электронный пучок с плотностью и мощностью достаточной для плавления, фокусируется на поверхности подложки, детали или уже выращенного слоя металла. В месте обработки образуется ванна расплава, в которую вводится металлическая проволока, тем самым увеличивая объем расплавленного материала. При смещении положения обработки манипулятором путем движения подложки или пушки в горизонтальном направлении происходит смещение ванны расплава, в результате чего наплавленный в предыдущий момент времени металл застывает.

Электронно-лучевую наплавку образцов осуществляли на установке ТЕТА 6Е250-HE, оснащенной энергоблоком с ускоряющим напряжением 60 кВ.

В связи с тем, что в жаропрочную сталь входят химически активные элементы, аддитивная технология послойного выращивания в вакууме с помощью электронного луча обеспечивает надежную защиту наплавленного и остывающего металла. Для выращивания образцов размерами $100 \times 100 \times 45$ использовали сварочную проволоку Св-ЭП609Ш диаметром 1,6 мм.

После электронно-лучевой наплавки требуется термообработка для восстановления механических свойств и снятия остаточных напряжений. Термообработку образцов вели по следующим режимам:

-закалка $T=1000-1050$ 0С (среда воздух), отпуск $T=640-660$ 0С (среда воздух) – образец №1, 2, 3 – данный режим используется при изготовлении листов и поковок из данного материала, механические свойства соответствуют основному материалу.

После термообработки образцов были выполнены работы по определению внутренних дефектов неразрушающими способами контроля по результатам которых недопустимые дефекты не обнаружены.

Для сравнения требуемых и полученных механических свойств были проведены разрушающие испытания с определением следующих характеристик: временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение и сужение, ударная вязкость.

Образцы №1, 2, 3 по механическим свойствам соответствуют требованиям.

1. По результатам неразрушающих исследований при процессе электронно-лучевой наплавки не образуются поры, так как процесс изготовления происходит в вакууме.

2. Данная технология позволяет получать механические свойства наплавленного металла выше, чем у основного материала.

3. Изготовление изделий послойным выращиванием в вакууме с помощью электронного луча позволяет снизить себестоимость и цикл изготовления товарной продукции.

Introduction of the technology of layer-by-layer growing of heat-resistant steel products using an electron beam

Starkov I.N., Rozhkov K.A.

PNRPU, Perm, Russia

The process of electron-beam additive surfacing is as follows: an electron beam with a density and power sufficient for melting is focused on the surface of the substrate, part, or an already grown metal layer. A molten bath is formed at the processing site, into which a metal wire is introduced, thereby increasing the volume of molten material. When the position of processing by the manipulator is shifted by moving the substrate or the gun in the horizontal direction, the melt pool is displaced, as a result of which the metal deposited at the previous moment of time solidifies.

Electron-beam surfacing of the samples was carried out on a TETA 6E250-HE installation equipped with a power unit with an accelerating voltage of 60 kV.

Due to the fact that high-temperature steel contains chemically active elements, the additive technology of layer-by-layer growth in vacuum using an electron beam provides reliable protection of the deposited and cooling metal. To grow samples with dimensions $100 \times 100 \times 45$, Sv-EP609Sh welding wire with a diameter of 1.6 mm was used.

After electron beam cladding, heat treatment is required to restore mechanical properties and relieve residual stresses. The heat treatment of the samples was carried out according to the following modes:

• Hardening $T = 1000-1050$ 0С (medium air), tempering $T = 640-660$ 0С (medium air) – sample no. 1, 2, 3 – this mode is used in the manufacture of sheets and forgings from this material, mechanical properties correspond to the base material.

After heat treatment of the samples, work was carried out to determine the internal defects by non-destructive testing methods, according to the results of which no inadmissible defects were found.

To compare the required and obtained mechanical properties, destructive tests were carried out with the determination of the following characteristics: tensile strength, yield strength, elongation and contraction, impact strength.

Samples No. 1, 2, 3 correspond to the requirements in terms of mechanical properties.

1. According to the results of non-destructive studies during the process of electron-beam surfacing, pores are not formed, since the manufacturing process takes place in a vacuum.

2. This technology allows obtaining the mechanical properties of the deposited metal higher than those of the base material.

3. Manufacturing products by layer-by-layer cultivation in a vacuum using an electron beam can reduce the cost and the cycle of manufacturing commercial products.

Расчетная оценка деградации остаточной прочности и жесткости верхних панелей композитного крыла самолета транспортной категории

Стрижиус В.Е., Петров Р.А., Лупачев Д.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из важнейших задач обеспечения прочности элементов композитных авиационных конструкций является задача оценки степени деградации (снижения) остаточной прочности и жесткости таких элементов в процессе накопления усталости. Известно, что для композитных панелей крыла транспортного самолета остаточная прочность и остаточная жесткость не должны быть ниже определенных уровней в течение всего срока службы самолета. Для проведения подобных оценок с достаточной точностью сформированы методы и процедуры выполнены тестовые оценки степени деградации остаточной прочности и жесткости в процессе накопления усталости для образцов со свободными отверстиями из ламината углепластика AS4-PW толщиной 8,84 мм для случая использования этого ламината в качестве обшивки верхних панелей композитного крыла самолета транспортной категории. Получены значения усталостных долговечностей рассматриваемых образцов до достижения нормированных значений остаточной прочности и жесткости. Проведено сравнение полученных долговечностей с долговечностью рассматриваемых образцов без учета деградаций остаточной прочности и жесткости. Отмечена значительная разница в полученных значениях усталостной долговечности. Сделан вывод о целесообразности выполнения подобных оценок практически для всех основных силовых элементов самолета, сделанных из композиционных материалов.

ESTIMATION OF DEGRADATION OF THE RESIDUAL STRENGTH AND STIFFNESS OF THE UPPER PANELS OF A TRANSPORT AIRCRAFT COMPOSITE WING

Strizhius V.E., Petrov R.A., Lupachev D.K.

MAI, Moscow, Russia

One of the most important tasks of ensuring the strength of elements of composite aircraft structures is to assess the degree of degradation (reduction) of the residual strength and stiffness of such elements in the process of fatigue accumulation. It is known that for composite wing panels of a transport aircraft, the residual strength and residual stiffness should not be below certain levels during the entire service life of the aircraft. Methods and procedures for such assessments have been developed for conducting such assessments with sufficient accuracy. It is noted that such assessments should be carried out at the stage of preliminary design of the aircraft, when the key parameters of layered composite materials are determined: the type of layered material, the lay-up options, the selection of design stresses, etc. Using the proposed methods and procedures, test assessments of the degree of degradation of residual strength and stiffness over the fatigue accumulation were performed for samples with open holes made of 8.84 mm thick AS4-PW carbon fiber laminate for the case of using this laminate as the skin of the upper panels of a composite wing of transport aircraft. The values of fatigue life of the samples under consideration are obtained until the normalized values of residual strength and stiffness are reached. The obtained durabilities are compared with the durabilities without considering the degradation of residual strength and stiffness. A significant difference between the obtained values of fatigue life is noted. The conclusion about the feasibility of performing such assessments for almost all the main load-bearing elements of the aircraft made of composite materials is made.

Контроль качества и безопасность при производстве конструкций летательных аппаратов с использованием аддитивных технологий

Судукова К.А., Ворошилин А.П., Мессинева Е.М., Ухов П.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В последние годы часть промышленного авиационного мира с большим энтузиазмом восприняла целесообразность применения аддитивных технологий в своем производственном процессе.

Надежность и безопасность авиационной техники (АТ) в значительной степени зависят от эффективной организации автономных и комплексных испытаний элементов конструкций как на этапе эскизного и рабочего проектирования, так и в процессе производства и эксплуатации изделий.

Важной целью испытаний летательных аппаратов является моделирование в эксперименте таких режимов, которые в наибольшей степени отвечают реальным условиям их эксплуатации. Особое значение приобретают динамические и статические испытания. Это связано с характером действующих на летательный аппарат нагрузок, которые большей частью носят динамический характер в процессе эксплуатации. Моделирование вибрационных и импульсных нагрузок при стендовой обработке изделий АТ связано с необходимостью учета всего комплекса амплитудно-фазово-частотных характеристик как самого объекта испытаний, так и стенда. Расчет этих характеристик представляет отдельную и весьма актуальную задачу практической теории колебаний механических систем. При этом взаимное влияние объекта и стенда может быть весьма существенным.

В связи с недостаточной практикой внедрения в технологию производства изделий АТ, созданных методом 3D печати, на сегодняшний день не существует универсальной и полной методики контроля качества в различных конструкциях.

При производстве летательных аппаратов, помимо технологических методов и средств, широко используются также организационные, информационные, экономические методы и средства управления качеством. В настоящее время качество продукции становится основным ориентиром в деятельности предприятий. Опираясь на современные методы и средства управления качеством, внедряя на предприятиях международные стандарты, передовые предприятия добились лидирующих позиций на мировом рынке. Повышение качества летательных аппаратов может быть достигнуто лишь при объединении усилий специалистов в различных областях техники и технологии, использовании эффективных методов управления производством.

Quality control and safety in the production of aircraft structures using additive technologies

Sudukova K.A., Voroshilin A.P., Messineva E.M., Ykhov P.A.
MAI, Moscow, Russia

In recent years, part of the industrial aviation world has embraced with great enthusiasm the feasibility usage of additive technologies in their manufacturing process.

The reliability and safety of aviation equipment (AT) largely depend on the effective organization of autonomous and comprehensive testing of structural elements both at the stage of preliminary and detailed design, and during the production and operation of products.

An important goal of testing aircraft is to simulate in an experiment such modes that best meet the real conditions of their operation. Dynamic and static tests are of particular importance. This is due to the nature of the loads acting on the aircraft, which are mostly dynamic in nature during operation. Vibration and impulse loads simulation during bench testing of AT products is associated with the need to take into account the entire complex of amplitude-phase-frequency characteristics of both the test object itself and the stand. The calculation of these characteristics is a separate and very urgent problem in the practical theory of vibrations of mechanical systems. In this case, the mutual influence of the object and the stand can be very significant.

Due to the insufficient practice of introducing into the production technology of AT products created by the method of 3D printing, today there is no universal and complete method of quality control in various designs.

In the production of aircraft, in addition to technological methods and means, organizational, informational, economic methods and quality management tools are also widely used. Currently, product quality is becoming the main guideline in the activities of enterprises. Relying on modern methods and means of quality management, introducing international standards at enterprises, advanced enterprises have achieved leading positions in the world market. Improving the quality of aircraft can be achieved only by combining the efforts of specialists in various fields of technology and technology, using effective methods of production management.

О снижении трудоемкости при переходе на цифровое производство в аэрокосмической промышленности

Тарасенко А.С., Шемонаева Е.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время цифровизация авиакосмической промышленности является актуальной задачей, решение которой позволяет повысить производительность предприятий отрасли. Переход на бесчертежное проектирование с использованием САД/CAM/PDM-систем требует изменений в области производства – переход на безбумажное планирование и управление производственными процессами. Таким образом, для перехода на цифровое производство обязательным условием является внедрение информационных систем.

Информационная система, обеспечивающая связь основных процессов предприятия, как производственных, так и управленческих, связанных с персоналом, поставками и финансами, носит одноимённое название стратегии планирования ресурсов предприятия – ERP.

ERP-системы имеют большую популярность и востребованность на современном рынке и рассматриваются как пакет решений по управлению финансовыми, кадровыми, производственными и обеспечивающими процессами предприятия, а также, в зависимости от потребности предприятия, управление цепочкой поставок и сбыта. Тиражируемость ERP-систем высока, однако при их внедрении на предприятиях авиакосмической промышленности возникает ряд трудностей, связанных со сложностью объекта производства, а, следовательно, с особенностями самого производства.

Изделия авиакосмической промышленности при внедрении и оптимизации современной ERP-системы в производственные процессы требуют индивидуального подхода. Как правило, процесс внедрения включает этапы по организации и разработке проекта, подготовке и сбору основных данных, тестировании и настройке системы, что влечет за собой дополнительные финансовые затраты, потребность в квалифицированном персонале, а также растягивает срок реализации такого проекта.

Уменьшить трудоемкость внедрения можно путем предварительной подготовки и сбора данных по всем процессам предприятия. Однако, универсальных решений в области подготовки и сбора данных, независимо от выбранного производителя ERP-системы, на данный момент не существует. Целью работы является снижение трудоемкости подготовки и сбора данных о производственных процессах предприятия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить возможности различных ERP-систем в части планирования ресурсов предприятия.
2. Проанализировать особенности технологии производства изделий авиакосмической промышленности.
3. Сформулировать принципы унификации данных и разработать шаблон универсальной базы данных.

On reducing labor intensity in the transition to digital manufacturing in the aerospace industry

Tarasenko A.S., Shemonaeva E.S.

MAI, Moscow, Russia

Currently, the digitalization of the aerospace industry is an urgent task, the solution of which can increase the productivity of enterprises in the industry. The transition to drawingless design using CAD/CAM/PDM systems requires changes in the field of production - the transition to paperless planning and control of production processes. Thus, the introduction of information systems is a prerequisite for the transition to digital production.

The information system that provides communication between the main processes of the enterprise, both production and management, related to personnel, supplies and finance, bears the same name of the enterprise resource planning strategy – ERP.

ERP are very popular and in demand in the modern market and are considered as a package of solutions for managing financial, personnel, production and supporting processes of an enterprise, as well as, depending on the needs of the enterprise, supply chain management and sales. The replicability of ERP systems is high, however, when they are introduced at the enterprises of the aerospace industry, a number of difficulties arise associated with the complexity of the production facility, and, consequently, with the peculiarities of the production itself.

Aerospace products require an individual approach when implementing and optimizing a modern ERP system in production processes. As a rule, the implementation process includes the stages of organizing and developing a project, preparing and collecting basic data, testing and configuring the system, which entails additional financial costs, the need for qualified personnel, and also extends the implementation period of such a project.

It is possible to reduce the complexity of implementation by preliminary preparation and collection of data on all processes of the enterprise. However, there are currently no universal solutions in the field of data preparation and collection, regardless of the chosen manufacturer of the ERP. The aim of the work is to reduce the labor intensity of the preparation and collection of data on the production processes of the enterprise.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks:

1. Explore the capabilities of various ERP in terms of enterprise resource planning.
2. Analyze the features of the technology for the production of products of the aerospace industry.
3. Formulate the principles of data unification and develop a template for a universal database.

Технология мобильного ремонта агрегатов воздушных судов из полимерных композиционных материалов

Торопылина Е.Ю., Москвичева Е.Д.

Филиал «Региональные самолёты», г. Москва, Россия

С каждым годом использование полимерных композиционных материалов (ПКМ) увеличивается, и мало кто задумывается о такой важнейшей составляющей управления жизненным циклом изделия, как ремонт. Совершенствование методов диагностики и ремонта поврежденных направлено на сокращение сроков и стоимости ремонтных работ, а также на повышение надежности восстановления поврежденных узлов, восстановление их несущей способности и сохранение их ресурса.

Как правило, большинство авиационных агрегатов изготавливают из предварительно пропитанных листов углеродной и стеклоткани-препрегов, отверждая их в автоклаве для создания избыточного давления.

Применение этой технологии, с одной стороны, позволяет получить более совершенные в весовом отношении агрегаты, а, с другой стороны, создает проблемы с ремонтом агрегатов, особенно при ежедневной эксплуатации вдали от завода-изготовителя и при отсутствии автоклавов и другого специализированного оборудования.

Увеличение использования композиционных материалов требует разработки новых и совершенствования существующих технологий ремонта. В процессе эксплуатации

возникают различные виды повреждений. Поэтому главным условием проведения ремонтных работ в авиации является восстановление исходных данных прочностных и аэродинамических характеристик самолета. Это может быть достигнуто в полной мере путем применения технологии установки ремонтной детали (заплаты) с использованием тканей со связующим, пленочных и пастообразных клеев с необходимой температурой и давлением для формования или склеивания ремонтной детали. Согласно традиционной технологии изготовления, ремонтные детали изготавливаются из материалов, аналогичных материалам, используемым для изготовления ремонтируемого агрегата. В некоторых случаях при использовании соответствующего оборудования можно отремонтировать конструкцию без демонтажа ее с самолета, что позволит снизить затраты и сократить цикл ремонта.

Целью работы было изучение новой возможной технологии ремонта. Эта работа включала в себя: построение модели САЭ, расчет и испытание образцов на прочность (до и после ремонта). Анализ полученных данных позволяет сделать выводы о возможности использования данной технологии ремонта.

Литература:

1. Крысин В.Н., Крысин М. В. Технологические процессы формообразования, намотки и ламинирования конструкций.- М.: Машиностроение 1989.-240С.:Ил.
2. Технологические рекомендации ТР1.4.1831-88. Ремонт сотовых конструкций из полимерных композиционных материалов. М.:НИАТ, 1984.183с.

Technology for mobile repair of aircraft aggregates made of polymer composite materials

Toropylina E.Yu., Moskvicheva E.D.
Regional Aircraft, Moscow, Russia

Every year the use of polymer composite materials (PCM) increases and few people think about the most important component of product lifecycle management, such as repair. Improvement of methods of diagnostics and repair of damages is designed to reduce the time and cost of repair work, as well as to increase the reliability of recovery of damaged units, restore their bearing capacity and preserve their resource.

As a rule, most aircraft units are made from pre-impregnated sheets of carbon and glass fabric-prepregs, by curing them in an autoclave to create excess pressure.

The use of this technology, on the one hand, allows you to get more advanced in terms of weight, and, on the other hand, creates problems with the repair of units, especially in daily operation away from the manufacturer and in the absence of autoclaves and other specialized equipment.

Increasing the use of composite material requires the development of new and improving existing repair technologies. In the process of exploitation there are various types of damage. Therefore, the main condition for carrying out repairs in aviation is to restore the initial data of the strength and aerodynamic characteristics of the aircraft. This can be achieved to the full extent by applying the technology of setting the repair part (patch) using fabrics with a binder, film and paste adhesives with the necessary temperature and pressure for forming or gluing the repair part. According to the traditional manufacturing technology, repair parts are made of materials similar to the materials used to make the repaired unit. In some cases, with the use of appropriate equipment, it is possible to repair the structure without dismantling it from the aircraft, which will reduce costs and shorten the repair cycle.

The purpose of this work was to study a new possible repair technology. This work included: building a CAE model, calculating and testing samples for strength (before and after repair). The analysis of the obtained data allows us to draw conclusions about the possibility of using this repair technology.

References:

1. V.N. Krysin, M.V. Krysin, Technological processes of shaping, winding and laminating structures.- Moscow: Mashinostroenie, 1989.- 240C.: Il.
2. Technological recommendations TR 1.4.1831-88. Repair of cellular glued structures made of polymer composite materials. Moscow: NIAT, 1984.183c.

Влияние редкоземельных металлов на структуру и механические свойства эвтектического силумина

Фозиллов Т.Т., Петров И.А.

МАИ, г. Москва, Россия

При получении отливок из алюминиевых сплавов, особенно силуминов, принципиальное значение имеет модифицирование эвтектики и зерен α -твердого раствора, так как основные эксплуатационные и технологические свойства напрямую зависят от структуры сплава [1]. Необходимый результат можно достичь не только широко используемым в литейном производстве методами (модифицирование, рафинирования и т.д.), но и дополнительным введением в расплав добавок РЗМ. В данной работе было проведено исследование влияния различных редкоземельных металлов (Ce, La, Sc, Sm, Y, Yb, Er) на структуру и свойства сплава АК12. Все исследуемые элементы вводились в расплав с помощью лигатур. Добавка 0,2% Sc не оказывает явного воздействия на структуру и механические свойства исследуемого сплава. Прочность и пластичность в этом случае остаётся, на уровне не модифицированного сплава и составляют среднее 147 МПа и 2,3%. Малые добавки Y, Er, Ce и La оказывают положительное воздействие на структуру и свойства исследуемого сплава. Добавка 0,3 % Y значительно повышает предел прочности – до 170 МПа в среднем, а также, стоит отметить, что пластичность возрастает до 7,1% относительно немодифицированного сплава. При введении в сплав АК12 0,3% Er пластичность достигает 6,5%, а предел прочности увеличивается до 180 МПа. В то же время La в меньшей степени влияет на структуру и механические свойства сплава АК12 по сравнению с Y и Er. При введении 0,5% La, предел прочности возрастает до 165 МПа, а пластичность до 4,3%. Ce менее эффективно проявляет себя как модификатор структуры в эвтектическом сплаве АК12 по сравнению с Y, Er и La. Добавка 0,5% Ce повышает предел прочности до 154 МПа и пластичность до 3,7% исследуемого сплава. Введение 0,6% Y благоприятно воздействует на структуру сплава АК12, измельчая кремний в эвтектике (α +Si), при этом пластичность достигает 6,7%, а предел прочности увеличивается до 174 МПа. В то же время добавка 0,6% Sm в меньшей степени модифицирует кремний в эвтектике (α +Si), но изменяет морфологию дендритов α -твердого раствора в исследуемом сплаве. Следовательно, увеличивается прочность, в среднем до 200 МПа, при незначительном росте пластичности до 3,2%. В работе установлено, что все исследованные РЗМ оказывают в разной степени положительное влияние на структуру и свойства сплава АК12.

Литература:

1. Шляпцева А.Д., Петров И.А., Ряховский А.П., Моисеев В.С. Исследование алюмотермического восстановления диоксида титана в алюминиевом расплаве // Литейщик России. 2019. №11. с. 8-12.

The effect of rare earth metals on the structure and mechanical properties of eutectic silumin

Fozilov T.T., Petrov I.A.

MAI, Moscow, Russia

When obtaining castings from aluminum alloys, especially silumins, modification of the eutectic and grains of the α -solid solution is of fundamental importance, since the main operational and technological properties directly depend on the structure of the alloy [1]. The desired result can be achieved not only by methods widely used in foundry production (modification, refining, etc.), but also by additional introduction of REM additives into the melt. In this work, the influence of various rare earth metals (Ce, La, Sc, Sm, Y, Yb, Er) on the structure and properties of the AK12 alloy was studied. All the studied elements were introduced into the melt using ligatures. The addition of 0.2% Sc does not have a clear effect on the structure and mechanical properties of the alloy under study. The strength and ductility in this case remains at the level of the non-modified alloy and is on average 147 MPa and 2.3%. Small additives Y, Er, Ce and La have a positive effect on the structure and properties of the alloy under study. The addition of 0.3 % Y significantly increases the ultimate strength – up to 170 MPa on average, and it is also worth noting that the

ductility increases to 7.1% relative to the unmodified alloy. When adding 0.3% Er to the AK12 Alloy, the ductility reaches 6.5%, and the ultimate strength increases to 180 MPa. At the same time, La has less influence on the structure and mechanical properties of the AK12 alloy compared to Y and Er. When 0.5% La is introduced, the ultimate strength increases to 165 MPa, and the ductility increases to 4.3%. Ce is less effective as a structure modifier in the ak12 eutectic ALLOY compared to Y, Er, and La. The addition of 0.5% Ce increases the ultimate strength to 154 MPa and the ductility to 3.7% of the investigated alloy. The introduction of 0.6% Yb has a favorable effect on the structure of the AK12 alloy, grinding silicon in eutectic (α -Si), while the plasticity reaches 6.7%, and the ultimate strength increases to 174 MPa. At the same time, the addition of 0.6% Sm modifies silicon in eutectic (α -Si) to a lesser extent, but changes the morphology of the dendrites of the α -solid solution in the alloy under study. Consequently, the strength increases, on average up to 200 MPa, with a slight increase in plasticity up to 3.2%. It was found that all the studied REM have a different degree of positive effect on the structure and properties of the AK12 alloy.

Конструирование экспериментального стенда для исследований свойств пористых материалов

Чертыковцев П.А., Чертыковцева В.О.
Самарский университет, г. Самара, Россия

Одним из перспективных и эффективных способов интенсификации теплообменных процессов является использование в теплообменных устройствах пористых металлов. Тепловой и гидравлический расчеты теплообменных аппаратов на основе пористых структур проводится с помощью уравнений сохранения энергии, массы, импульса сил с соответствующими начальными и граничными условиями. Математическая модель в общей постановке не имеет точного аналитического решения и является достаточно сложной. Для замыкания математической модели и получения информации о гидравлическом сопротивлении, механизме и интенсивности теплопереноса при движении охладителя в пористых структурах необходимы обширные экспериментальные исследования.

Работа посвящена конструированию экспериментального стенда для исследования влияния различных факторов на теплоотдачу пористых материалов. Стенд представляет собой стеклянную трубку с исследуемым материалом внутри, пару теплообменников и корпуса для них. Воздух в системе под воздействием альтернатора поступает в холодный теплообменник, вследствие чего температура воздуха падает. Воздух поступает в стеклянную трубку, в которой установлена пористая вставка. После пористой вставки воздух поступает в горячий теплообменник, где температура воздуха повышается. После попадания воздуха в ресивер под действием альтернатора воздух движется в обратном направлении. Цикл повторяется. Преимуществами данной конструкции являются: возможность исследования различных материалов; возможность замера температуры по всей длине пористой вставки; возможность определения гидравлического сопротивления до и после теплообменников, изучение процессов теплообмена в пористых структурах и пульсирующих потоках газа.

Design of an experimental stand for studying the properties of porous materials

Chertykovtsev P.A., Chertykovtseva V.O.
Samara University, Samara, Russia

One of the perspective and effective ways to intensify heat exchange processes is the use of porous metals in heat exchange devices. Thermal and hydraulic calculations of heat exchangers based on porous structures are carried out using the equations of energy conservation, mass, impulse of forces with appropriate initial and boundary conditions. The general formulation of the mathematical model does not have an exact analytical solution and is rather complicated. To close the mathematical model and obtain information on the hydraulic resistance, the mechanism and intensity of heat transfer during the movement of the coolant in porous structures, extensive experimental studies are required.

The work is devoted to the design of an experimental stand for studying the influence of various factors on the heat transfer of porous materials. The stand is a glass tube with a test material inside,

a pair of heat exchangers and cases for them. The air in the system, under the influence of the alternator, enters the cold heat exchanger, as a result of which the air temperature drops. Air enters a glass tube in which a porous insert is installed. After the porous insert, the air enters the hot heat exchanger, where the air temperature rises. After air enters the receiver under the action of the alternator, the air moves in the opposite direction. The cycle is repeated. The advantages of this design are: the ability to study various materials; the ability to measure the temperature along the entire length of the porous insert; the ability to determine the hydraulic resistance before and after heat exchangers, the study of heat transfer processes in porous structures and pulsating gas flows.

Применение методов топологической оптимизации для выбора геометрии силового набора подкрепленных панелей

Чжоу Й.К., Соляев Ю.О.

МАИ, г. Москва, Россия

В докладе представлена методика выбора геометрии и расположения элементов силового набора подкрепленных панелей, работающих в условиях сложно-напряженного состояния. В рамках предложенной методики выполняется предварительное решение задачи топологической оптимизации для панели, геометрия которой моделируется с использованием тонкостенных (shell) элементов для поиска оптимального расположения ребер жесткости. Далее проводится повторный анализ в трехмерной постановке для уточнения облегченной геометрии ребер жесткости с учетом ограничений на максимальные напряжения и переход в предельное состояние материала панели. Применение предложенной схемы повторного анализа позволяет уменьшить время вычислений и является необходимым для корректной оценки прочности панелей. В докладе представлены результаты расчетов для составных металло-композитных панелей, в которых топологическая оптимизация реализуется для центральных металлических изотропных областей, а для окружающих их композитных элементов, одновременно, дается оценка по выбору оптимальной схемы армирования в предположении однонаправленной и многослойной структуры материала. Композитные элементы оптимизированы введением дополнительной переменной, определяющей угол ориентации волокон в данной точке панели. Упругие характеристики композита рассчитываются на основе стандартных методов механики анизотропных пластин. Расчеты реализованы в системе Comsol. В результате расчетов показана возможность повышения массовой эффективности рассматриваемых конструкций за счет рационального размещения ребер жесткости криволинейной формы. Изготовление предложенных вариантов конструкций может проводиться с использованием методов трехмерной печати из металлов.

Application of topological optimization methods for selecting the geometry of a power set of reinforced panels

Kyaw Y.K., Solyaev Yu.O.

MAI, Moscow, Russia

The report presents a method for selecting the geometry and location of elements of a power set of reinforced panels operating in a complex-stressed state. Within the framework of the proposed method, a preliminary solution of the topological optimization problem is performed for a panel whose geometry is modeled using thin-walled (shell) elements to find the optimal location of stiffeners. Further, a repeated analysis is carried out in a three-dimensional formulation to clarify the lightweight geometry of the stiffeners, taking into account the restrictions on the maximum stresses and the transition to the limiting state of the panel material. Application of the proposed reanalysis scheme allows reducing the computation time and is necessary for a correct assessment of the strength of the panels. The report presents the results of calculations for composite metal-composite panels, in which topological optimization is implemented for the central metal isotropic regions, and for the surrounding composite elements, at the same time, an assessment is given for choosing the optimal reinforcement scheme under the assumption of a unidirectional and multilayer structure of the material. Composite elements are optimized by introducing an additional variable that determines the fiber orientation angle at a given panel point. The elastic properties of the

composite are calculated based on standard anisotropic plate mechanics methods. Calculations are implemented in the Comsol software. As a result of calculations, the possibility of increasing the mass efficiency of the structures under consideration was shown due to the rational placement of curved stiffeners. Manufacturing of the proposed design options can be carried out using methods of three-dimensional printing from metals.

Тенденционное моделирование – инструмент поиска инновационных конструкций

Юрин В.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Инновационные конструкции формируются на ранних стадиях их проектирования, критичных по стоимости ошибки. Для их поиска важно иметь оперативные средства адекватной оценки идей конструктора, позволяющие ему без расчетчиков и исследователей проверить их перспективность. Для этого предложен метод тенденционного моделирования (ТМ) [1], основанный на моделировании не самих конструкций (их нет на этих стадиях), а физико-технических эффектов, на которых основана работа создаваемой конструкции (ФТЭ-К). ТМ при решении творческих задач поиска новых решений дает возможность перейти от моделей верификации конструкции к моделям значительно меньшей размерности.

В основе ТМ лежит принцип однородности физических процессов, рассматриваемых в конструкции и в модели ФТЭ-К: с переходом от конструкции к модели ФТЭ-К не происходит коренного качественного изменения физического процесса, определяющего поведение конструкции, а изменяется лишь интенсивность его проявления. При реализации ТМ выполняется итерационная последовательность работ: Генерирование ФТЭ поисковой концепции конструкции (ФТЭ-ПК) – Адаптация ФТЭ-ПК к условиям объекта проектирования с учетом условий, накладываемых на возмущающее воздействие, инициирующее данный ФТЭ, и на объект проектирования – Формирование структуры ФТЭ-К (морфологической матрицы [2]) – Задание вида целевой функции в виде частных критериев или их свертки, а также требуемого её значения – Разработка конечно-элементной модели ФТЭ-К – Определение параметров модели ФТЭ-К, наиболее сильно влияющих на изменение ее выходных характеристик – Оптимизация параметров модели ФТЭ-К по заданному значению целевой функции проведением вычислительных экспериментов – Оценка ФТЭ-К сравнением значений целевых функций моделей ФТЭ-К исходного варианта и полученного в результате оптимизации, сравнением их с требуемым значением целевой функции.

Апробация ТМ на примерах поиска новых средств повышения качества станков при проектировании позволила получить охранный патент на решения, в том числе квазисинергетические конструкции, где организованное конструктором напряженно-деформированное состояние конструкции обеспечивает ее заданное поведение без устройств охлаждения, контроля и управления.

1. Юрин В.Н. Автоматизация ранних стадий проектирования средств повышения качества станков путем управления их тепловыми деформациями. – М.: ВНИИТЭМР, 1991. – 72 с.

2. Юрин В.Н. Представление термоупругих физико-технических эффектов обеспечения точности. // СТИН, 2001, № 10. – С. 8-13.

Trend modeling – tool for searching innovative designs

Yurin V.N.

MAI, Moscow, Russia

Innovative designs are formed at the early stages of their design, which are critical for the cost of error. To search for them, it is important to have operation-al tools for an adequate assessment of the designer's ideas, allowing him to check their prospects without researchers. For this purpose, a method of trend modeling (TM) is proposed, based on modeling not the structures themselves (they are not present at these stages), but the physical and technical effects on which the work of the created design is based (PTE-D). TM in solving creative problems of find-ing new solutions makes it possible to move from models of structure verifica-tion to models of much smaller dimension.

TM is based on the principle of uniformity of physical processes considered in the design and in the PTE-D model: with the transition from the structure to the PTE-D model, there is no fundamental qualitative change in the physical process that determines the behavior of the structure, but only the intensity of its manifestation changes. When implementing a TM you receive a iterative sequence of activities: Generation of FTE search design concept (of FTE-SDC) – Adaptation of FTE-SDC to the conditions of the design object subject to the conditions imposed on disturbance initiating the FTE, and the object of design – the formation of the structure of FTE-D (morphological matrix) – set the target function in the form of individual criteria or their convolutions, as well as the required values – development of a finite element model of FTE D – Determining the parameters of the PTE-D model that most strongly affect the change in its output characteristics – Optimizing the parameters of the PTE-D model for a given value of the objective function by conducting computational experiments-evaluating the PTE-D by comparing the values of the objective functions of the PTE – D models of the original version and the resulting optimization, comparing them with the required value of the objective function.

Testing of TM on the examples of searching for new means of improving the quality of machine tools during design allowed us to obtain protective solutions, including quasi-synergetic structures, where the stress-strain state of the structure organized by the designer ensures its specified behavior without cooling, monitoring and control devices.

8.1. Международная конференция «Композитные материалы и конструкции»

8.1. International Conference “Composite Materials and Constructions”

Improvement of the test standards for determination of mode I interlaminar fracture toughness of composite under large deformation

Xu Wu

Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China

Due to the low strength of polymer, delamination is frequently found at locations where composite material is subjected to high interlaminar stress. Various methods have been developed to improve the interlaminar fracture toughness. The double cantilever beam (DCB) is one of the most widely used test specimens for measurement of mode I interlaminar fracture toughness. However, in some circumstances, the linear elastic fracture mechanics (LEFM) based method for determining the fracture toughness is inadequate. This is because composite laminate is often thin. For tough composite material and soft material, large deformation will occur in the DCB test. To obtain accurate fracture toughness, the effect of large displacement on the fracture toughness calculation should be carefully considered.

Determinations of the interlaminar fracture toughness of pure mode I, mode II and mixed modes I/II have been extensively investigated in the recent decades. Despite great achievements have been made, there are still many researchers trying to improve the standard methods for measurement of the interlaminar fracture toughness or to develop novel test methods for composite materials with large plastic zone or/and bridging fiber. Pioneering works on the correction of the effect of large deformation on determination of the mode I interlaminar fracture toughness were performed by Devitt et al. and Williams using the geometrical nonlinear Euler- Bernoulli beam theory. The correction factor given by Williams is adopted by the ASTM standard D5528 and ISO 15024 for measurement of the mode I interlaminar fracture toughness of the composite DCB under large deformation. However, to the best of our knowledge, very limited experimental, analytical, and numerical work has been reported to verify the correction given in these standards for the composite DCB under large deformation. We have occasionally found that the interlaminar fracture toughness of the composite DCB with piano hinge under large deformation is greatly underestimated by the ASTM and ISO standards.

The study aims are to carefully verify the nonlinear J-integral method for measurement of the interlaminar fracture toughness of the composite DCB under large displacement, and to improve the ASTM D5528 and ISO 15024. It will be shown that the fracture toughness values determined from the nonlinear J-integral method and the ASTM and ISO methods with the proposed correction are accurate and consistent.

Применение нанолегкокомпозитов для создания композитных авиационных агрегатов, стойких к удару молнии

Александров А.А., Насонов Ф.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Основная задача – создать наноструктурные материал функционального назначения с комплексом свойств, не достижимых для обычных материалов.

Полимерную матрицу, модифицированную углеродными наночастицами (УНЧ), в угленанокомпозите следует рассматривать как дисперсию случайно расположенных в диэлектрике проводящих частиц, к которой применима теория перколяции и общие вероятностно-статистические подходы при описании явлений переносов в неупорядоченных полупроводниках с позиции теории перколяции.

Высокая проводимость полупроводника возникает, когда концентрация проводящих частиц в диэлектрике становится выше определенного порогового значения, соответствующего образованию в гетерогенном материале непрерывной системы контактирующих проводящих частиц.

Повышенная проводимость модифицированного углекомполита будет придана первым двум слоям, находящимся на внешней обтекаемой поверхности ЛА. Следующие слои будут иметь проводимость градиентно меньше. Этим будет достигнуто минимальное снижение удельных упруго-прочностных свойств углекомполита.

В качестве основного конструкционного материала выбран широко применяемый в отечественном авиастроении углекомполит ВКУ-30Р.14535, выполненный на основе классических эпоксидных матричных систем.

В качестве функционального модификатора будет применена смесь на основе жидких эпоксидных смол с одностенными углеродными нанотрубками (УНТ) производства фирмы OCSiAl марки TUBALLtm-COMP-E, совмещенного с стеклотканью пониженной плотности тип 120.

Элементарные образцы будут изготовлены методом послойной выкладки с последующим автоклавным формованием при повышенном давлении и температуре.

Будет изготовлено 3 образца: углекомполитный, углекомполитный с применением металлического молниезащитного покрытия (МЗП), углекомполитный с применением модификаторов.

Изготовленные образцы будут испытаны на механические свойства в соответствии со стандартными методиками (на статическое растяжение и статическое сжатие), не менее 5 образцов на вариант.

Для определения электропроводимости будут проведены сравнительные измерения с помощью электронных омметров.

Application of nanocarbons for designing of composite aviation units resistant to lightning strike

Aleksandrov A.A., Nasonov F.A.
MAI, Moscow, Russia

The main task is to create nanostructural properties for a functional purpose with a set of properties that are not attainable for conventional materials.

A polymer matrix modified with carbon nanoparticles (CNPs) in a carbon nanocomposite should be considered as a dispersion of conducting particles randomly located in a dielectric, to which the percolation theory and general probabilistic-statistical approaches are applicable when describing transfer phenomena in disordered semiconductors from the standpoint of the percolation theory.

The high conductivity of a semiconductor occurs when the concentration of conducting particles in the dielectric rises above a certain threshold value corresponding to the formation of a continuous system of contacting conducting particles in the heterogeneous material.

The increased conductivity of the modified carbon composite will be imparted to the first two layers located on the outer streamlined surface of the aircraft. The next layers will have a gradient with less conductivity. This will achieve a minimum decrease in the specific elastic-strength properties of the carbon composite.

As the main structural material, VKU-30R.14535 carbon composite, widely used in the domestic aircraft industry, made based on classical epoxy matrix systems, was chosen.

As a functional modifier, a mixture based on liquid epoxy resins with single-walled carbon nanotubes (CNTs) produced by OCSiAl, TUBALLtm-COMP-E, combined with low-density fiberglass type 120, will be used.

Elementary samples will be made by layering with subsequent autoclave molding at elevated pressure and temperature.

3 samples will be made: carbon composite, carbon composite with the use of metal lightning protection coatings (MLPCs), carbon composite with the use of modifiers.

The manufactured samples will be tested for mechanical properties by standard methods (static tension and static compression), at least 5 samples per variant.

Comparative measurements using electronic ohmmeters will be carried out to determine the electrical conductivity.

Ступенчатое исследование карбонизации для получения углерод-углеродных композитов из ПКМ с фталонитрильными матрицами

Алешкевич В.В., Булгаков Б.А., Бабкин А.В., Кепман А.В.

МГУ, г. Москва, Россия

Современные области машиностроения предъявляют повышенные требования к используемым материалам. Помимо высокой прочности изделия должны обладать высокой химической и термической стабильностью, а также низкой массой. В области низких температур подобными материалами выступают полимерные композиционные материалы (ПКМ). К сожалению, изделия из ПКМ могут эксплуатироваться при температурах не выше 400°C, что серьезно ограничивает их применение. В области высоких температур (>400°C) обычно используются металлические либо керамические изделия. Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) совмещают в себе положительные качества и ПКМ (высокая прочность, химическая стабильность, низкая плотность), и металлов/керамики (высокая термостабильность). Этот факт сделал их одними из наиболее перспективных материалов для изготовления тормозных дисков в авиастроении и конструкционных изделий в химической промышленности.

Основной проблемой при изготовлении УУКМ является длительное время на производство изделия. В процессе карбонизации образец теряет значительную часть массы с последующим образованием пор. Проведение нескольких циклов инфузии-карбонизации позволяет избавиться от пустот, но требует значительного количества времени. Фталонитрильные связующие, обладающие углеродным остатком 75-80% позволяют сократить необходимое количество циклов с 5-6 до 2.

В предыдущих работах были исследованы некоторые режимы карбонизации ПКМ с фталонитрильными матрицами. Оптимальным способом термической обработки является ступенчатый режим с замедлением нагрева в интервале температур 450-800°C. При этих температурах происходит наибольшая потеря массы матрицы исходного ПКМ. При высоких скоростях нагрева в объёме материала могут образовываться большие трещины, что ведёт к значительному снижению свойств.

В данной работе был детально исследован ступенчатый режим карбонизации. Процесс нагревания останавливался с шагом в 50°C, образцы извлекались и испытывались. В итоге режим карбонизации был скорректирован по результатам этих анализов. Это позволило сократить процесс на 10ч с незначительными изменениями относительно исходного режима. Плотность материала после первого цикла инфузии-карбонизации – 1,72 г/см³, прирост усадки относительно исходного режима – +38%, рост прочности при межслоевом сдвиге – +6%.

Работа была выполнена при поддержке Минобрнауки России. Контракт №. 14.607.21.0204 (RFMEFI60718X0204).

Step-by-step study of carbonization for obtaining carbon-carbon composites from CFRP with phthalonitrile matrices

Aleshkevich V.V., Bulgakov B.A., Babkin A.V., Kepman A.V.

MSU, Moscow, Russia

Modern mechanical engineering imposes increased demands on the materials used. In addition to high mechanical characteristics, the products expected to show high chemical and thermal stability as well as low weight. At low temperatures, materials like carbon-fiber reinforced polymers (CFRPs) are preferable. Unfortunately, CFRP can be utilized at temperatures not exceeding 400°C. At high temperatures (> 400°C) metal or ceramic products are often used. Carbon-carbon composite materials (C/Cs) combine pros of both CFRP (high mechanical strength, chemical stability, low density) and metals/ceramics (high temperature stability). Due to this fact C/Cs are

one of the most promising materials for aircraft brakes discs manufacturing and chemical industry structural parts.

The C/Cs manufacturing main problem is long production cycle. During carbonization, the sample loses a significant part of its mass with subsequent pore formation. Carrying out several cycles of infusion-carbonization allows getting rid of voids but requires a significant amount of time. Phthalonitrile resins with 75-80% carbon yield allow reducing the required cycles number from 5-6 to 2.

In the previous works some modes of phthalonitrile CFRP carbonization were investigated. The optimal heat treatment method is a stepped mode with lowering the heating rate in the temperature range 450-800°C. At these temperatures, the highest matrix mass loss occurs. At high heating rates large cracks can be formed in the bulk material, which leads to a significant property decrease.

In this work the carbonization step mode was studied in detail. The heating process was stopped every 50°C and samples were tested. As a result, the carbonization mode was corrected according to the analyses results. It allowed reducing the process by 10h with minor mechanical characteristics changes relative to the initial mode. Density of material after the first cycle of infusion-carbonization is 1.72 g/cm³, shrinkage is +38% relative to the initial mode; interlaminar shift strength changed by +6%.

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Contract No.14.607.21.0204 (RFMEFI60718X0204).

Влияние режимов технологического процесса изготовления на параметры макроструктуры и коробление деталей из слоистых ПКМ

Артемьев А.В., Бакулин В.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящем докладе представлен анализ результатов расчетно-экспериментальных работ по влиянию давления формования и инъекции связующего на его объемное содержание в полученном композите и температурно-временного режима отверждения слоистого полимерного композиционного материала (ПКМ) на уровень остаточных напряжений, проявляющихся в короблении изготавливаемых деталей из ПКМ.

Приведены результаты экспериментальных работ, иллюстрирующие что:

- Реализация расчетного объемного содержания связующего при использовании препрегов требует не только точного нанесения связующего на армирующий материал, но и применения специальных перфорированных пленок.
- Расчетное объемное содержание связующего при использовании инъекционной пропитки обеспечивается поддержанием необходимого перепада давления опрессовки и инъекции.
- Метод вакуумной инфузии (совмещенный процесс вакуумной пропитки и формования) имеет нижнюю границу объемного содержания связующего, превышающую необходимую для реализации наивысших упруго-прочностных характеристик для выбранной пары «волокно-матрица».
- Коробление тонкостенных деталей сильно зависит от температурно-временного режима отверждения связующего, особенно на стадии его гелеобразования;
- Оптимизация температурного режима позволит минимизировать уровень остаточных напряжений в композите.

Экспериментальные работы производились в лаборатории МАИ на образцах слоистых полимерных композиционных материалов. Разработан стенд для контроля образцов под нагрузкой методом вычислительной рентгеновской томографии [1,2]. Рассматривалось применение ПКМ [3].

Литература:

1. Васильев С.Л., Артемьев А.В., Бакулин В.Н., Юргенсон С.А. Контроль образцов методом вычислительной рентгеновской томографии под нагрузкой. Дефектоскопия. 2016, №5, С.52-61.

2. S. L. Vasilev, A. V. Artemev, V. N. Bakulin, and S. A. Yurgenson. Testing Loaded Samples Using X-Ray Computed Tomography. published in Defektoskopiya, 2016, No. 5, pp. 63-73.

3. Артемьев А.В., Бакулин В.Н. Экспериментальное определение массовой эффективности клеомеханических металлокомпозитных соединений. Сб. Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред (к 95 летию со дня рождения Академика И.Ф. Образцова). Москва, 15-17 декабря 2015 г. М.: ИПРИМ РАН. 2015. С. 29-32.

The influence of the process' technological modes of manufacturing on the parameters of the macrostructure and correction of parts from layered PCM

Artemiev A.V., Bakulin V.N.

MAI, Moscow, Russia

This report presents an analysis of the results of computational and experimental work on the effect of molding pressure and injection of a binder on its volume content in the resulting composite and the temperature-time mode of curing of a layered polymer composite material (PCM) on the level of residual stresses manifested in warping of manufactured parts from PCM.

The results of experimental work are presented, illustrating that:

- The implementation of the calculated volumetric content of the binder when using prepregs requires not only accurate application of the binder to the reinforcing material but also the use of special porolated films.

- The calculated volumetric content of the binder when using injection impregnation is ensured by maintaining the required pressure drop for crimping and injection.

- The method of vacuum infusion (the combined process of vacuum impregnation and molding) has a lower limit of the volumetric content of the binder, which exceeds that necessary for the implementation of the highest elastic-strength characteristics for the selected pair of "fiber-matrix".

- The warpage of thin-walled parts strongly depends on the temperature-time mode of binder curing, especially at the stage of its gelation;

- The optimization of the temperature mode will allow minimizing the level of residual stresses in the composite.

Experimental work was carried out in the laboratory of the MAI on samples of layered polymer composite materials. A stand was developed for testing loaded samples using X-ray computed tomography [1,2]. The application of the PCM was considered [3].

References:

1. Vasilev S.L., Artemiev A.V., Bakulin V.N., Yurgenson S.A. Sample Control by Computational X-ray Tomography under Load. Flaw detection. 2016, No. 5, p.52-61.

2. S. L. Vasilev, A. V. Artemev, V. N. Bakulin, and S. A. Yurgenson. Testing Loaded Samples Using X-Ray Computed Tomography. published in Defektoskopiya, 2016, No. 5, pp. 63-73.

3. Artemiev A.V., Bakulin V.N. Experimental determination of the mass efficiency of glue-mechanical metal-composite joints. Collection of Composite Mechanics and Structures, Complex and Heterogeneous Media (to the 95th anniversary of the birth of Academician I.F. Obraztsov). Moscow, December 15-17, 2015. M.: IAM RAS. 2015. p. 29-32.

Стойкие к окислению покрытия на основе системы $ZrSi_2$ - $MoSi_2$ - ZrB_2 для жаропрочных неметаллических композиционных материалов

Астапов А.Н., Лифанов И.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Представлены результаты исследований, направленных на создание жаростойких защитных покрытий на основе системы $ZrSi_2$ - $MoSi_2$ - ZrB_2 для жаропрочных неметаллических композиционных материалов на основе углерода. Покрытия формировали на образцах из C_f/SiC композита методом оплавления порошковых композиций, содержащих фазы, вес. %: 44-54 $ZrSi_2$, 18-28 $MoSi_2$, 15-36 ZrB_2 . Для повышения сплошности структуры дополнительно исследовали вариант совместного оплавления послойно нанесенных композиций из указанных порошков и порошка элементарного кремния.

Исследованы кинетические и структурные особенности окисления покрытий при 1650°C на воздухе. Установлено, что кинетика окисления подчиняется логарифмическому закону.

Проведены структурные исследования с применением методов сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионной спектроскопии и рентгеновского фазового анализа. Показано, что на поверхности покрытий формируются многочисленные оксидные пленки, имеющие сложное гетерогенное строение. Выявлено, что окисление протекает преимущественно по матричной фазе $ZrSi_2$. Формирование стеклофазы и ее апвеллинг на поверхность приводит к снижению концентрации кислорода по толщине покрытий, что влечет за собой уменьшение доли окисления молибдена и снижение доли окисляемого кремния в $MoSi_2$ с образованием MoO_2 , Mo , Mo_3Si и Mo_5Si_3 . Обнаружены высокодисперсные включения ZrO_2 в SiO_2 , свидетельствующие о ликвационной дифференциации расплава по мере растворения циркония в SiO_2 . Увеличение степени гетерогенности силикатного стекла способствует замедлению его испарения.

Проведены огневые эксперименты в условиях аэрогазодинамического нагрева образцов с покрытиями потоками воздушной плазмы с числами Маха 5,5-6,0 при реализации температур на поверхности $T_w = 1300-2200^\circ C$. Все покрытия продемонстрировали работоспособность в этих условиях, но с различной эффективностью. Отличительной особенностью поведения покрытий с дополнительным введением кремния являлось возникновение самопроизвольного роста температуры, начиная с $T_w = 2000^\circ C$. Выполнена оценка характеристик каталитической активности покрытий. Определена спектральная излучательная способность покрытий до и после испытаний в интервале длин волн излучения 600-900 нм при комнатной температуре. Выполнены структурные исследования покрытий после газодинамических испытаний. Разработаны рекомендации по возможному практическому применению созданных технических решений.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ (Соглашение № 19-79-10258 от 08.08.2019 г.).

Heat resistant coatings based on the $ZrSi_2$ - $MoSi_2$ - ZrB_2 system for refractory non-metallic composite materials

Astapov A.N., Lifanov I.P.

MAI, Moscow, Russia

The results of studies aimed at creating heat-resistant protective coatings based on the $ZrSi_2$ - $MoSi_2$ - ZrB_2 system for refractory non-metallic composite materials based on carbon are presented. Coatings were formed on C_f/SiC composite specimens by slip firing technology from powder compositions containing phases, wt. %: 44-54 $ZrSi_2$, 18-28 $MoSi_2$, 15-36 ZrB_2 . To increase the continuity of the coating structure, we additionally investigated the variant of joint layer-by-layer application of the indicated powders and elemental silicon powder.

The kinetic and structural features of the oxidation of coatings at $1650^\circ C$ in air have been investigated. It has been found that the kinetics of oxidation obeys a logarithmic law. Structural studies were carried out using the methods of scanning electron microscopy, energy dispersive spectroscopy and X-ray phase analysis. It is shown that multilayer oxide films with a complex heterogeneous structure are formed on the coating surface. It was revealed that oxidation proceeds predominantly through the $ZrSi_2$ matrix phase. The formation of the glass phase and its upwelling on the surface leads to a decrease in the oxygen concentration over the thickness of the coatings, which entails a decrease in the fraction of molybdenum oxidation and a decrease in the fraction of oxidizable silicon in $MoSi_2$ with the formation of MoO_2 , Mo , Mo_3Si , and Mo_5Si_3 . Highly dispersed ZrO_2 inclusions in SiO_2 were found, indicating the segregation differentiation of the melt as zirconium dissolves in SiO_2 . An increase in the degree of heterogeneity of silicate glass slows down its evaporation.

Fire experiments have been carried out under conditions of aerogasdynamic heating of coated samples with air plasma flows with Mach numbers of 5.5-6.0 and temperatures at the surface $T_w = 1300-2200^\circ C$. All coatings have demonstrated performance under these conditions, but with varying efficiencies. A distinctive feature of the behavior of coatings with the additional introduction of silicon was the occurrence of a spontaneous increase in temperature, starting from $T_w = 2000^\circ C$. The characteristics of the catalytic activity of the coatings have been evaluated. The spectral emissivity of the coatings before and after tests has been determined at room temperature

in the range of radiation wavelengths from 600 to 900 nm. Structural studies of coatings after gas-dynamic tests have been carried out. Recommendations on possible practical application of the created technical solutions have been developed.

The work was carried out within the framework of a grant from the Russian Science Foundation (Agreement No. 19-79-10258 of 08.08.2019).

Изготовление кессона крыла пассажирского самолета анизогридной конструкции

Бабичев А.А.

ЦНИИСМ, г. Хотьково, Россия

Как известно, внедрение композиционных материалов в авиастроении развивается стремительными шагами. В настоящий момент существует три основные концепции конструктивно силовых схем изделий: подкреплённая, трехслойная и сетчатая. Подкреплённая силовая схема как показывает практика не позволяет получить существенной весовой эффективности по сравнению с металлическими прототипами, а при выборе между трехслойной и сетчатой большим весом совершенством обладают сетчатые анизогридные конструкции. Изготовлению кессона крыла пассажирского самолета анизогридной конструкции посвящён данный доклад. Разработанная конструкция представляет собой две силовых анизогридных сетчатых панели соединённых между собой сетчатыми нервюрами и лонжеронами. Соединение производится посредством соединения шип-паз: законцовки панелей лонжеронов и нервюр имеют выступы являющийся продолжением силовых однонаправленных ребер сетчатой структуры, которые устанавливаются в пазы верхней и нижней силовых панелей организованные так же ребрами сетчатой структуры при сборке и проклеиваются. Силовые панели имеют оптимизированную систему однонаправленных ребер сетчатой структуры, изменяющуюся от корневого сечения до конечного, т.к. нагрузки, действующие на кессон, крыла изменяются по длине. Поскольку механические характеристики однонаправленного композитного материала при сжатии и растяжении значительно отличаются, силовые панели верхняя и нижняя имеют различный набор ребер сетчатой структуры в связи с тем, что верхняя панель в основном расчетном случае подвергается сжатию, а нижняя – растяжению. Панели имеют внешнюю обшивку для восприятия аэродинамических нагрузок и внутреннюю обшивку для организации топливных баков во внутреннем пространстве кессона. Обшивка образованна углеродной тканью пропитанной эпоксидным связующим. Ребра сетчатой структуры изготовлены из однонаправленного углепластика. Внутреннее пространство между ребрами сетчатой структуры в каждой панели имеет наполнитель из вспененного материала. Геометрически кессон крыла представляет собой замкнутый прямоугольный контур с размерами сечения в корне 830x230 мм и на конце 550x140 мм, длиной 7200 мм. При основной действующей нагрузке – моменте около 60 тс*м в корневом сечении масса конструкции составляет около 185 кг.

Manufacturing of anisogrid composite wing box for a passenger aircraft

Babichev A.A.

CRISM, Khotkovo, Russia

As known, the application of composite materials in the aircraft industry is under intensive development. Today, there are three main design concepts of load-bearing aircraft structures: stringer, sandwich and lattice. Analysis and existing experience show, that stringer and sandwich composite design concept do not allow us to reach a significant weight efficiency in comparison with metal prototypes.

The report is devoted to manufacturing of a passenger aircraft wing box which is designed as anisogrid composite lattice structure. The structure consists of two upper and lower load-bearing anisogrid lattice panels assembled into a wing box with the aid of transverse lattice ribs and longitudinal spars. The joints between the panels, the ribs and the spars are made in a form of a thorn-groove structure: the ends of the composite ribs of transverse ribs and spars are imbedded into the groves in the upper and the lower panels. The groves are filled with resin which is cured in the process of the box assembly.

The wing structural elements - panels, transverse ribs and spars have an optimized system of helical and hoop unidirectional composite ribs whose structural parameters vary along the box length in accordance with the variation of the bending moment and the transverse shear force acting on the box. Since the mechanical characteristics of unidirectional composite materials under compression and tension are significantly different, the upper and lower panels have different lattice structures because the upper panel is, in the main design case, subjected to compression, whereas the lower panel – to tension. The panels have outer skins undertaking aerodynamic loads and inner skins forming fuel tanks in the inner space of the box. The skin is made of carbon fabric impregnated with epoxy resin. The ribs of lattice structural elements are made of unidirectional CFRP. The interior space between the ribs and the skins of the panels is filled with a foam core. The root cross section of the wing box has a rectangular form with dimensions 830x230 mm, the dimensions of the end cross section are 550x140 mm, and box length is 7200 mm. The main design load – bending moment of about 60 t*m acts in the root cross section. The total mass of the structure is about 185 kg.

Математическое описание реологических кривых для гомо- и сополимеров пропилена с целью упрощённого определения их молекулярно-массовых характеристик

Балькаев Д.А., Ларионов И.С.
КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия

Одним из перспективных и интенсивно развивающихся термопластичных полимеров является полипропилен. Ввиду недостатка информации о реологических характеристиках в технической документации к полимерам технологом для оптимизации режимов переработки приходится определять необходимые данные на практике затрачивая большие объёмы сырья и времени. В связи с этим информация о реологическом поведении в широком диапазоне частот и температур различных марок ПП облегчит выбор параметров переработки и позволит проводить необходимые технологические расчеты.

Реологические исследования свойств марок ПП проводились на ротационном реометре с рабочим узлом типа плоскость – плоскость в режиме осцилляции. Зависимости компонентов комплексного динамического модуля и вязкости от частоты измеряли при температурах 190, 200, 210, 220 и 230°C, амплитуда деформации составляла 0.05-0.2 рад.

В технологических процессах получения изделия из полипропиленов возникают сдвиговые деформации полимеров в очень широком диапазоне частот, существующие реологические приборы очень часто не позволяют анализировать поведение связующего при данных условиях. Для решения этой проблемы был использован принцип температурно-временной суперпозиции, который заключается в измерении реологических параметров в доступном диапазоне частот при различных температурах и приведении их к одной температуре. С применением принципа температурно-временной суперпозиции, были построены обобщенные зависимости $G'(\omega a_T)$ и $G''(\omega a_T)$, приведенные к $T=230^\circ\text{C}$, где a_T – температурный фактор приведения по оси частот.

Из-за влияния молекулярно-массовых характеристик полимера на форму релаксационного спектра были построены графики обобщённых частотных зависимостей для каждой группы полипропиленов для их сравнительного анализа с целью определения молекулярно-массового распределения объектов исследования. Построенные приведенные зависимости также были описаны математическими уравнениями с целью установления связи между найденными коэффициентами и ММХ полимеров.

В результате для широкого ряда марок ПП были получены обобщённые частотные зависимости релаксационного спектра, позволяющие предсказывать поведение полимеров при их использовании как связующих, а также описаны частотные зависимости компонентов релаксационного модуля уравнением и проанализированы тенденция изменения его коэффициентов от марки к марке, тем самым получив приближённый способ нахождения молекулярной массы.

Mathematical description of rheological curves for propylene homo- and copolymers for the purpose of simplified determination of their molecular weight characteristics

Balkaev D.A., Larionov I.S.
KNRTU-KAI, Kazan, Russia

One of the promising and rapidly developing thermoplastic polymers is polypropylene. Due to the lack of information on rheological characteristics in the technical documentation for polymers, technologists to optimize the processing modes have to determine the necessary data in practice, spending large volumes of raw materials and time. In this regard, information on the rheological behavior in a wide range of frequencies and temperatures of various PP grades will facilitate the choice of processing parameters and allow the necessary technological calculations.

Rheological studies of the properties of PP grades were carried out on a rotary rheometer with a working unit of the plane-plane type in the oscillation mode. The frequency dependences of the components of the complex dynamic modulus and viscosity were measured at temperatures of 190, 200, 210, 220, and 230°C; the deformation amplitude was 0.05-0.2 rad.

Shear deformations of polymers in a very wide range of frequencies occur in the technological processes of producing an article from polypropylene; existing rheological instruments very often do not allow analyzing the behavior of the binder under these conditions. To solve this problem, the principle of temperature-time superposition was used, which consists in measuring rheological parameters in an accessible frequency range at different temperatures and bringing them to the same temperature. Using the principle of temperature-time superposition, generalized dependences $G'(fat)$ and $G''(fat)$ were constructed, reduced to $T = 230^\circ\text{C}$, where am is the temperature reference factor along the frequency axis.

Due to the influence of the molecular weight characteristics of the polymer on the shape of the relaxation spectrum, graphs of generalized frequency dependences for each group of polypropylenes were constructed for their comparative analysis in order to determine the molecular weight distribution of the objects of study. The constructed given dependences were also described by mathematical equations in order to establish a relationship between the found coefficients and the MMC of polymers.

Методы определения податливости односрезных болтовых соединений типа «композит-композит» и «композит-металл» для средних и больших толщин: сравнительный анализ существующих эмпирических соотношений (обзор)

Больших А.А., Еремин В.П., Корольский В.В., Шелков К.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе проводится сравнительный анализ существующих методов определения податливости механических соединений типа “композит-композит” и “композит-металл”. Полимерные материалы широко используются в современной авиационной и космической промышленности. Для соединения композитных агрегатов с композитными и металлическими агрегатами широко применяют механические соединения. Как следствие возникает необходимость учитывать характеристики данных соединений при расчете агрегатов летательного аппарата.

Учет податливости механического соединения в глобальных конечно-элементных моделях конструктивно-силовых агрегатов летательных аппаратов позволяет повысить точность расчетов, что приводит к улучшению их весовых характеристик. Однако расчет локальных участков механического соединения трудоемок, особенно при наличии большого числа наборов толщин соединяемых агрегатов.

Проводится обзор и анализ существующих эмпирических зависимостей для расчета механических соединений. Использование эмпирических формул позволяет значительно снизить время и трудозатраты при расчете податливости болтовых соединений для применения в глобальных конечно-элементных моделях. Однако встает вопрос о точности результатов расчетов по данным формулам для конкретного набора толщин и материала соединяемых агрегатов.

Проводится сравнение результатов расчета жесткости и податливости односрезных соединений «композит-композит» и «композит-металл» методом конечных элементов для малых, средних и больших толщин мембран и по эмпирическим формулам.

По результатам анализа для средних и малых значений толщин предлагается определять значения податливости болтового соединения по эмпирической зависимости Boeing 1, а при больших толщинах соединяемых мембран предлагается использовать эмпирическую зависимость Huth.

Methods for flexibility determination of «composite-to-composite» and «composite-to-metal» bolted joints of medium and high thickness: empirical formula review

Bolshikh A.A., Eremin V.P., Koroliskii V.V., Shelkov K.A.

MAI, Moscow, Russia

This paper provides a comparative analysis of existing methods for determining the flexibility of “composite-to-composite” and “composite-to-metal” mechanical joints. Polymer materials are widely used in the modern aircraft and spacecraft industry. For connection of composite units with composite and metal ones mechanical joints are widely used. As a result, it is necessary to take into account the characteristics of the joints of the structural units of the aircraft during the design stage.

Taking into account the flexibility of the mechanical connections in global Finite Element models of aircraft structural units makes it possible to increase the accuracy of calculations, which leads to an improvement in weight performance. However, the calculation of local sections of the mechanical connection is time-consuming, especially if there is a large number of sets of thicknesses of the connected units.

The review and analysis of existing empirical dependences for calculating mechanical connections flexibility is carried out. The use of empirical formulas can significantly reduce the time and labor costs when calculating the flexibility of bolted joints for subsequent use in global finite element models. However, the accuracy of the results of calculations based on these formulas for a specific set of thickness and material of the connected units still needs verification.

The results of calculating the stiffness and flexibility of single shear composite-to-composite and composite-to-metal joints using the Finite Element Method for small, medium and large membrane thicknesses and using empirical formulas are compared.

Based on the results of the analysis, for medium and small thicknesses, it is proposed to determine the values of the bolt joint flexibility according to the empirical formula of the Boeing 1, and for large values of the thickness of the connected membranes, it is proposed to use the empirical formula of Huth.

Расчет технологических напряжений и коробления на примере стрингерной панели

Бондарчук Д.А., Гаделев Р.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

При расчете на прочность изделий из композитных материалов приходится учитывать практически всю историю создания изделия, от укладки армирующих волокон до режима отверждения. Наличие остаточных напряжений в сочетании с механическими нагрузками может привести к таким дефектам в композитных конструкциях, как поперечное растрескивание (микротрещины), расслоение и коробление. Все эти производственные эффекты делают актуальным изучение физико-химических изменений, сопровождающих процессы производства ПКМ так как они могут существенно влиять на статическую и усталостную прочность, созданного на их основе изделия.

В настоящей работе описана методика расчета остаточных напряжений в крупногабаритных конструкциях из ПКМ на примере стрингерной панели. Для определения величины остаточных напряжений и характера деформирования стрингерной панели было произведено конечно-элементное моделирование инфузионного процесса изготовления изделия в Aباqus.

При моделировании учитывался изначально имеющийся дефект в панели-расслоение между стрингером и обшивкой.

В результате моделирования получены распределения напряжений, температурного поля и перемещений в панели. На данном этапе работ, показана практическая реализуемость предложенной методики моделирования на крупногабаритных изделиях из ПКМ, получаемых методом инфузии.

Calculation of technological stresses and warpage in a stringer panel

Bondarchuk D.A., Gadelev R.R.

MAI, Moscow, Russia

When calculating the strength of products made of composite materials, it is necessary to take into account almost the entire history of the manufacturing of the product, from the laying of reinforcing fibers to the curing process. The presence of residual stresses in combination with mechanical loads can lead to defects in composite structures such as lateral cracking (microcracks), delamination and warpage. All these manufacturing effects make it relevant to study the physicochemical changes that accompany the production of PCMs, since they can significantly affect the static and fatigue strength of the product created on their basis.

In the current study, in order to determine the magnitude of residual stresses and the nature of deformation of the stringer panel, a finite element modeling of the infusion process was performed in Abaqus using the developed user subroutine. During the modeling, the initially existing defect in the panel-delamination between the stringer and the skin was taken into account.

As a result of the modelling, the distributions of stresses, temperature field and displacements in the panel were obtained. At the current stage of the study, the practical feasibility of the proposed modelling technique on large-sized composite structures, manufactured by the infusion process, is shown.

Синтез конструктивно-силовой схемы композитного тормозного щитка самолета Ил-114-300 с применением методов топологической оптимизации

¹Вербицкий А.Б., ²Куликов В.В., ²Хромов А.В., ³Соловьев В.А., ⁴Козлов М.В.

¹ИНУМит, ²ПАО «Ил», г. Москва, Россия

³ВАСО, г. Воронеж, Россия

Самолет Ил-114 – советский и российский пассажирский самолёт для местных авиалиний. Крыло Ил-114-100 комплектуется тормозными щитками сотовой конструкции. Данная конструкция имеет ряд недостатков, включая накопление влаги в пустотах, приводящее к значительным повреждениям агрегата. В рамках реализации проекта Ил-114-300 была разработана новая конструкция тормозных щитков без применения сотовых заполнителей, соответствующая требованиям АП 25 и не уступающая по жесткости исходной сотовой конструкции. Дополнительным требованием являлось обеспечение статической прочности элементов конструкции из ПКМ при расчётной нагрузке с дополнительным коэффициентом безопасности равным 3,0. При данном уровне прочности создаваемая конструкция не должна превосходить исходную конструкцию по массе. На этапе технического предложения было рассмотрено три варианта расположения подкрепляющих стенок между обшивками: параллельно торцевым нервюрам; параллельно стенке лонжерона; продольные наклонные стенки. Расчеты показали, что с применением регулярных подкрепляющих элементов конструкция тормозного щитка удовлетворяет требованиям по жесткости и лимиту массы, однако требование по обеспечению прочности деталей из ПКМ с дополнительным коэффициентом безопасности 3,0 не выполняется. Для обеспечения требуемой прочности конструкции выполнен синтез конструктивно-силовой схемы с применением методов топологической оптимизации. По результатам решения задачи оптимизации в программе Tosca/Abaqus выявлена потребность в наличии V-образного подкрепляющего элемента между обшивками. Опытный образец тормозного щитка с V-образной стенкой был изготовлен и испытан в заводской лаборатории ПАО «ВАСО». По результатам статических испытаний запас прочности составил 1,35. Прделанная работа подтверждает целесообразность применения топологической оптимизации при проектировании тонкостенных конструкций из ПКМ, обладающих высокими показателями прочности и жесткости при минимальной массе.

Synthesis of a composite Ilyushin IL-114 ground spoiler with topology optimization

¹Verbitckii A.B., ²Kulikov V.V., ²Khromov A.V., ³Solovyev V.A., ¹Kozlov M.V.

¹INCMaT, ²ILYUSHIN, Moscow, Russia

³VASO, Voronezh, Russia

The Ilyushin IL-114 is a Soviet and Russian regional airliner. The Ilyushin IL-114-100 wing is equipped with composite ground spoilers structure with honeycomb core. This design has several disadvantages, including the accumulation of moisture in the voids, leading to significant damage. Within the framework of the IL-114-300 project, a new design of ground spoiler without honeycomb core was developed. New structure is designed according to Part 25 of Federal Aviation Regulations and is not inferior in rigidity to the original structure with honeycomb core. An additional requirement was to ensure the static strength of CFRP structural elements under ultimate load with special factor of safety of 3.0. At a given level of strength, the new structure should not exceed the original honeycomb structure in weight. At the stage of the technical proposal, three types of the regular plate structural elements between top and bottom skins were considered: parallel to the ribs; parallel to the spar; longitudinal inclined elements. According to the results of static stress analysis it was shown that the ground spoiler structure with regular structural elements has required rigidity and does not exceed weight limit, but has not been able to support ultimate load with special factor of safety of 3.0. To ensure the required strength of the structure, the synthesis of the structural elements shape was performed using topology optimization. Based on the results of solving the optimization problem in the Tosca/Abaqus, the need for a V-shaped structural element between the skins was identified. The prototype of the ground spoiler was made and tested at the static test facility of PJSC "VASO". According to the results of static tests, the margin of safety was 1.35. The project confirms the possibility of using topology optimization in the design of thin-walled CFRP structures with high strength and rigidity with a minimum weight.

Особенности проектирования и расчета трехслойных композитных конструкций с дискретным наполнителем

Волков А.Н., Зотов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В конструкции летательных аппаратов широко используются многослойные панели и оболочки с различными наполнителями. Наиболее распространены сотовые, гофровые и вспениваемые наполнители. В последнее время появились перспективные складчатые, а также ферменные структуры.

Опыт эксплуатации и отработки объектов с применением трехслойных пакетов показал их высокую эффективность благодаря тому, что при малом весе они обладают высокой удельной прочностью и жесткостью. К их недостаткам относятся: низкая ударная прочность, сложность с удалением конденсата, невысокая прочность на сдвиг, трудоемкость изготовления. Новые технологии изготовления данных структур из высокопрочных армированных композиционных материалов (стекло, углепластики) и широкие возможности по оптимизации их геометрических параметров позволяют добиться более высоких прочностных характеристик наполнителя на поперечное сжатие, продольный сдвиг и изгиб. Тем не менее, проблемы удаления конденсата, снижения трудоемкости изготовления, обеспечения надежности соединения наполнителя с несущими слоями, а также сложности выполнения конструкций с изменяемой геометрической конфигурацией заставляют искать новые решения. В работе рассматриваются принципы определения оптимальных размеров формы и расположения элементов наполнителя с целью получения максимальных прочностных и жесткостных характеристик при наименьшем весе, а также сложности применения трехслойных конструкций, изготовленных, как из полимерных композитных материалов, так и традиционных металлических материалов, с наполнителем дискретной структуры в виде конусообразных ячеек.

Традиционные технологические приемы соединения наполнителя с несущими слоями в виде склеивания или точечной сварки имеют невысокую надежность и невысокую прочность при продольном сдвиге, кроме того сложно контролировать качество соединений.

Изготовление конструкций с предлагаемой конфигурацией заполнителя с помощью 3D-печати позволяет выполнять единую трехслойную структуру в одну операцию, существенно улучшая характеристики соединений заполнителя с обшивкой. В то же время рассматриваемая структура заполнителя позволяет успешно решать задачу удаления конденсата, а также тепло- и звукоизоляции.

Features of design and calculation of three-layer composite structures with discrete filler

Volkov A.N., Zotov A.A.

MAI, Moscow, Russia

Multilayer panels and shells with various fillers are widely used in the construction of aircraft. The most common are honeycomb, corrugated and foamable aggregates. Recently, promising folded and truss structures have appeared.

The experience of operation and development of objects with the use of three-layer packages has shown their high efficiency due to the fact that, with a low weight, they have high specific strength and rigidity. Their disadvantages include: low impact strength, difficulty in removing condensate, low shear strength, laborious manufacturing. New technologies for the manufacture of these structures from high-strength reinforced composite materials (glass, carbon-fiber reinforced plastics) and ample opportunities for optimizing their geometric parameters make it possible to achieve higher strength characteristics of the filler in transverse compression, longitudinal shear and bending. Nevertheless, the problems of removing condensate, reducing the labor intensity of manufacturing, ensuring the reliability of the connection of the aggregate with the bearing layers, as well as the complexity of performing structures with a variable geometric configuration force us to seek new solutions. The paper discusses the principles of determining the optimal shape and location of filler elements in order to obtain maximum strength and stiffness characteristics with the least weight, and also shows the possibilities of using three-layer structures made of both polymer composite materials and traditional metal materials with a discrete structure filler. in the form of cone-shaped cells.

Traditional technological methods of joining the aggregate with the bearing layers in the form of gluing or spot welding have low reliability and low strength in longitudinal shear; in addition, it is difficult to control the quality of the joints. The fabrication of structures with the proposed configuration of the core using 3D printing allows performing a single three-layer structure in one operation, significantly improving the characteristics of the joints between the core and the skin. At the same time, the considered aggregate structure allows successfully solving the problem of condensate removal, as well as heat and sound insulation.

Численное моделирование прогрева формообразующей оснастки и заготовки детали из термопластичного композиционного материала

Головин Д.В., Аношкин А.Н., Шипунов Г.С., Баранов М.А.

ПНИПУ, г. Пермь, Россия

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) широко применяются в различных конструкциях авиационных двигателей. Применение ПКМ позволяет снизить массу изделий при сохранении показателей прочности и жесткости конструкции. В ряде случаев, производство изделий из ПКМ является более технологичным в сравнении с металлическими аналогами, например, за счёт большего коэффициента использования материала.

Наиболее нагруженные детали авиационного двигателя, как правило, изготавливаются по препреговой технологии. Несмотря на очевидные преимущества, такие как простота укладки материала, технологичность и чистота процесса, прочность производимых изделий, данный способ получения деталей имеет ряд недостатков. В составе препрега применяются реактопластичные связующие, поэтому на производстве требуется создавать специальные условия для хранения и выкладки материала, материал имеет определенный срок годности, летучие компоненты связующего токсичны, а неиспользованный остаток материала требует утилизации специальным образом.

Развитие технологий производства изделий из ПКМ происходит закономерным образом, в настоящее время начинают применяться новые и более совершенные виды связующих материалов на основе термопластичных полимеров. В частности, рядом производителей освоена технология производства препрегов углепластика на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК, РЕЕК). Данные термопластичные композиционные материалы (ТКМ) обладают высокими температурами эксплуатации (100-120°C при высоких и 240-260°C при низких нагрузках) и переработки (390-410°C). Перспективной технологией получения деталей из ТКМ является термоштамповка.

Одними из важных условий изготовления деталей термоштамповкой является соблюдение температурного режима и давления формования. В процессе создания конструкторско-технологической схемы изделия представляется возможным проверить данные условия за счёт численного моделирования. Была сформулирована задача по определению режима работы печи для обеспечения прогрева формообразующей оснастки и многослойной заготовки детали из ТКМ. Решение поставленной задачи осуществлялось в программном комплексе Ansys методом конечных элементов с использованием модуля решения нестационарных тепловых задач Transient Thermal. По результатам расчёта были определены температурные поля внутри оснастки и заготовки, а также необходимый температурный режим работы печи, который будет задаваться при разогреве материала перед формованием в прессе.

Numerical modeling of the heating process of the forming tooling and thermoplastic composite material workpiece

Golovin D.V., Anoshkin A.N., Shipunov G.S., Baranov M.A.

PNRPU, Perm, Russia

Currently, polymer composite materials (PCM) are widely used in various designs of aircraft engines. The use of PCM allows to reduce the parts weight while maintaining the strength and rigidity of the structure. In some cases, the production of PCM products is more technologically advanced in comparison with their metal counterparts, for example, due to a higher coefficient of material using.

The most loaded parts of an aircraft engine, as a rule, are manufactured using prepreg technology. Despite the obvious advantages, such as the ease of material laying, manufacturability and purity of the process, the strength of the manufactured products, this method has a number of disadvantages. Since thermosets binders are used in the prepreg, it is required to create special conditions for storing and laying out the material, the material has a certain shelf life, the volatile components of the binder are toxic, and the unused material residue requires special disposal.

However, the development of the production technologies for composite materials products is proceeding in a natural way; at present, new and more advanced types of binding materials based on thermoplastic polymers are being used. In particular, a number of manufacturers have mastered the production technology of CFRP prepregs based on polyetheretherketone (PEEK). CFRP based on these thermoplastics have high operating temperatures (100-120°C at high and 240-260°C at low loads) and processing (390-410°C). The most promising technology for producing parts from these materials is thermal stamping.

One of the important conditions for the manufacture of parts with this method is the observance of the required temperature and molding pressure. In the process of designing and creating a design and technological scheme of a product, it seems possible to check these conditions through the stage of numerical modeling. A task was formed to determine the required operating mode of the furnace to ensure heating of the forming tooling and multilayer workpiece of a thermoplastic composite materials part. The problem was solved in the Ansys software package by the finite element method using the Transient Thermal module for solving nonstationary thermal problem. Based on the results of the calculation, the temperature fields inside the tooling and the workpiece were determined, as well as the required temperature regime for the furnace operation, which will be set when the material is heated before press molding.

Формирование малозаметного облика высокоскоростного летательного аппарата

Гудзенко С.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Снижение величины эффективной поверхности рассеивания (ЭПР) высокоскоростного летательного аппарата (ЛА), характеризующий уровень радиолокационной заметности, предопределяет уменьшение дальности обнаружения и захвата ЛА радиолокационной станцией (РЛС) противника. Имеются различные варианты снижения ЭПР, в данной работе рассмотрено влияние технических решений по внешнему облику. В качестве объекта исследований был принят внешний облик гиперзвуковой крылатой ракеты X-51A (США). На базе полученных результатов сформированы рекомендации по выбору малоотражающих форм (МОФ).

Стоящие на вооружение РЛС, функционируют в сантиметровом диапазоне длине волны $\lambda = 3..10$ см. Для анализа целесообразности применения технических решений по малой заметности необходимо выбрать метод математического моделирования процессов рассеяния электромагнитного излучения на объекте. Одна из специализированных систем автоматизированного проектирования которая способна решить данную задачу путем триангуляции поверхности модели, с целью определения отражательной способности.

Снижение ЭПР ЛА может быть осуществлено не во всех направлениях наблюдения, а только в наиболее вероятных диапазонах углов обзора. Наиболее важными ракурсами облучения являются область передней полусферы $\theta = \pm 60^\circ$. При этом внешние обводы высокоскоростных ЛА с гиперзвуковым воздушнореактивным двигателем (ГПВРД) влияют и на аэродинамические характеристики. Главный критерий – это минимальная отражательная способность высокоскоростного ЛА с интегрированным воздухозаборником.

В данной работе в качестве технических решений по снижению РЛ заметности высокоскоростного ЛА с ГПВРД рассматриваются: сокращение числа отражающих элементов компоновки; обеспечение параллельности кромок; снижение влияния зеркальных отражений от боковых поверхностей путём их отклонений от нормали по отношению к падающей волне. После выбора проектных решений с минимальной отражательной способностью, необходимо проводить анализ их влияния на аэродинамические характеристики, для поддержания крейсерского режима полёта со скоростью $M=6$.

Formation of an unobtrusive appearance of a high-speed aircraft

Gudzenko S.G.

MAI, Moscow, Russia

A decrease in the effective scattering surface (ESR) of a high-speed aircraft (LA), which characterizes the level of radar visibility, determines a decrease in the range of detection and capture of the AIRCRAFT by the enemy's radar station (RLS). There are various options for reducing ESR, in this paper, the impact of technical decisions on appearance. As the object of research, the appearance of the X-51A hypersonic cruise missile (USA) was adopted. Based on the results obtained, recommendations for the selection of low-reflection forms (MOF) are formed.

The radars in service operate in the centimeter range with a wavelength of $\lambda = 3..10$ cm. To analyze the feasibility of using technical solutions for low visibility, it is necessary to choose a method for mathematical modeling of electromagnetic radiation scattering processes on an object. One of the specialized computer-aided design systems that can solve this problem by triangulating the surface of the model in order to determine the reflectivity.

The ESR of the AIRCRAFT can be reduced not in all directions of observation, but only in the most likely ranges of viewing angles. The most important radiation angles are the area of the anterior hemisphere $\theta = \pm 60^\circ$. At the same time, the external contours of high-speed aircraft with a hypersonic air-jet engine (gpvrd) also affect the aerodynamic characteristics. The main criterion is the minimum reflectivity of a high-speed AIRCRAFT with an integrated air intake.

In this paper, the following technical solutions for reducing the radar visibility of a high-speed aircraft with a gpvrd are considered: reducing the number of reflecting elements of the layout; ensuring parallelism of the edges; reducing the influence of mirror reflections from the side

surfaces by their deviations from the normal relative to the incident wave. After selecting design solutions with minimal reflectivity, it is necessary to analyze their impact on the aerodynamic characteristics in order to maintain a cruising flight mode at a speed of $M=6$.

Гибридные микрочастицы из сложных полиэфиров и наночастиц гидроксиапатита

Демина Т.С., Пермяков А.П., Черненко Т.В., Израилова Н.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Создание композиционных материалов с заданной структурой и свойствами является одним из ключевых направлений материаловедения, имеющем важное прикладное значение в различных областях: от биомедицины до космонавтики. В настоящем докладе будут рассмотрены различные подходы к получению гибридных полимер-неорганические нанокомпозитов на примере формования полимерных микрочастиц, содержащих наночастицы гидроксиапатита. Биodeградируемые полимерные частицы широко используют в медицине в качестве систем адресной и/или пролонгированной доставки лекарств, мультифункциональных клеточных микроносителей или исходных материалов для получения более крупных объектов с заданной архитектурой с помощью методов аддитивных технологий. В любом случае необходимо контролировать их структуру и свойства, в т.ч. за счет введения дополнительных компонентов. Например, для применения таких микрочастиц для регенерации костных тканей наиболее логичным является введение наночастиц гидроксиапатита – основного минерального компонента костной ткани. В работе исследовали возможность получения микрочастиц из биodeградируемых сложных полиэфиров (поликапролактон, полилактид), содержащих наночастицы гидроксиапатита, методом испарения растворителя из эмульсий масло/вода, а также исследование условий получения на структуру и характеристики гибридных микрочастиц. Оценено влияние типа полимера, соотношения полимер/гидроксиапатит, метода введения и диспергирования наночастиц на выход микрочастиц, их распределение по размерам, морфологию и состав объема и поверхности.

Hybrid microparticles based on polyesters and hydroxyapatite nanoparticles

Demina T.S., Permyakov A.P., Chernenok T.V., Israилоva N.N.

MAI, Moscow, Russia

Development of composite materials with a given structure and properties is one of the key aspects of materials science and it's of great applied importance in various fields: from biomedicine to cosmonautics. This work is aimed at consideration of various approaches to the fabrication of hybrid polymer-inorganic nanocomposites by an example of preparation of polymer microparticles containing hydroxyapatite nanoparticles. Biodegradable polymer particles are widely used in medicine as drug delivery systems with targeted and/or prolonged release, multifunctional cell microcarriers, and as starting materials for fabrication of larger objects with a well-defined architecture via additive technologies. In any case, it is necessary to control the microparticle structure and properties using additional components as a possible approach. For example, for the application of such microparticles for bone tissue regeneration, introduction of hydroxyapatite nanoparticles the main mineral component of bone tissue – is a logical choice. This work deals with fabrication of microparticles consisting of biodegradable polyesters (polycaprolactone, polylactide) and hydroxyapatite nanoparticles via oil/water emulsion solvent evaporation technique, as well as studying an effect of fabrication conditions on the structure and characteristics of the hybrid microparticles. An effect of the polymer nature, polymer/hydroxyapatite ratio, and method of introducing and dispersing of the nanoparticles on the total yield of the microparticles, their size distribution, morphology and composition of the volume and surface was evaluated.

Особенности жесткостных характеристик несущей системы гоночного автомобиля типа монокок, выполненной из трёхслойных панелей, состоящих из ПКМ с сотовым наполнителем

Еремин В.П., Больших А.А., Корольский В.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Целью работы является уменьшение массы и повышение крутильной жесткости несущей системы гоночного автомобиля при сохранении необходимой прочности за счет применения композиционных материалов в ее конструкции.

Объектом исследования является несущая система гоночного автомобиля, выполненная из трёхслойных панелей, состоящих из ПКМ с сотовым наполнителем.

Расчетная оценка прочности проведена методом конечных элементов, для этого разработана конечно-элементная модель несущей системы с учетом анизотропных свойств армированных материалов и трехслойных панелей. Численное исследование прочности выбранной конструкции показало, что несущая система типа «монокок» изготовленная с применением композиционного материала обладает достаточным запасом прочности при расчетных нагрузках.

Расчет угловой жесткости необходим для оценки крутильной жесткости несущей системы. В качестве нагрузки, прикладывается пара сил к передним точкам контакта с дорогой. В точках пятна контакта задней оси накладываются заделки, ограничивающие все перемещения и вращения во всех направлениях. После чего, исследуется жесткость системы вместе с направляющим устройством подвески, при этом амортизатор и поворотный кулак задаются как жесткое тело.

При проектировании несущей системы стоит учитывать распределение жесткостей по длине монокока.

В результате работы была предложена конструкция несущей системы типа «монокок» с применением углепластика в передней части и трубчатой пространственной рамой в задней части, имеющая меньшую массу и большую крутильную жесткость по сравнению с аналогами.

Peculiarities of the rigidity characteristics of the racing car monocoque type body made of three-layer panels consisting of PCM with honeycomb core

Eremin V.P., Bolshikh A.A., Koroliskii V.V.
MAI, Moscow, Russia

The aim of this work is to reduce the weight and increase the torsional rigidity of the racing car's body while maintaining the necessary strength through the use of composite materials in its structure.

The object of the study is the body of a racing car made of three-layer panels consisting of PCM with a honeycomb core.

The strength assessment was carried out using the Finite Element Method. For this purpose, a finite element model of the body was developed, taking into account the anisotropic properties of reinforced materials and three-layer panels. Numerical study of the strength of the selected structure showed that the "monocoque" type body made using composite materials has a sufficient margin of safety under design loads.

The calculation of angular stiffness is necessary for estimating the torsional stiffness of the body. As a load, a couple of forces are applied to the front points of contact with the road. At the points of the contact spot of the rear axle, seals are applied that limit all movements and rotations in all directions. After that, the system stiffness is studied while the suspension guide unit, the shock absorber and steering knuckle are set as rigid bodies.

When designing a car body, it is necessary to take into account the distribution of stiffness along the length of the monocoque.

As a result of the work, the design of the monocoque type body was proposed with the use of carbon fiber in the front part and a tubular spatial frame in the rear part. Overall the structure has a lower mass and greater torsional rigidity compared to analogues.

Численное прогнозирование эффективных упругих характеристик пространственно-армированных композиционных материалов с ортогональной структурой плетения

Ермаков Д.А., Аношкин А.Н.

ПНИПУ, г. Пермь, Россия

В последние годы наблюдается повышенный интерес к использованию полимерных композиционных материалов при производстве широкого спектра изделий, в том числе и ответственных деталей авиационной техники [1]. Одним из перспективных материалов для создания высоконагруженных деталей ракетных и авиационных двигателей являются пространственно-армированные композиционные материалы (ПАКМ). Применение пространственного армирования позволяет повысить механические характеристики конструкций из полимерных композиционных материалов такие, как сопротивление сдвигу и поперечному отрыву [2]. Для разработки таких материалов и авиационных двигателей являются методами прогнозирования их механических характеристик [3].

В настоящее время для прогнозирования механических свойств ПАКМ широко используется подход, основанный на компьютерном моделировании их геометрической структуры. С использованием построенных моделей задача микромеханики по прогнозированию механических свойств ПАКМ сводится к набору краевых задач, решаемых для фрагмента структуры.

Для построения геометрических моделей ПАКМ используются специальные программные пакеты. Для получения реальных моделей трехмерной структуры композита используют различные корректировки, выполненные по результатам оптической микроскопии или томографии композиционных материалов.

В настоящей работе предложен алгоритм автоматической корректировки модельной структуры ПАКМ, с применением параметров структуры, полученных по результатам оптико-микроскопического исследования.

Применение разработанного алгоритма позволило более точно описать структуру и выдержать процентное содержание объемной доли армирующего каркаса для рассматриваемого типа плетения. Проведено сравнение эффективных упругих характеристик ПАКМ, рассчитанных с помощью разработанных численных моделей и полученных в результате механических испытаний.

Литература:

1. Аношкин А.Н., Федоровцев Д.И., Писарев П.В., Осокин В.М. Расчет напряженно-деформированного состояния фланца из полимерных композиционных материалов с дефектом в виде расслоения // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2015. №4 (43).
2. Богомолов Павел Иванович, Козлов Игорь Анатольевич, Бируля Максим Анатольевич Обзор современных технологий изготовления объемно-армирующих преформ для перспективных композиционных материалов // ТТПС. 2017. №1 (39).
3. Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А. Механика деформирования и разрушения структурно неоднородных тел. Изд-во «Наука», Москва, 1984, 115 с.

Numerical Prediction of Effective Elastic Characteristics of Spatially Reinforced Composite Materials with an Orthogonal Weaving Structure

Ermakov D.A., Anoshkin A.N.

PNRPU, Perm, Russia

In recent years, there has been an increased interest in the use of polymer composite materials in the manufacture of a wide range of products, including critical parts of aviation technology [1]. Spatially reinforced composite materials (SRCM) are one of the promising solutions for the creation of highly loaded parts for rocket and aircraft engines. The use of spatial reinforcement makes it possible to increase the mechanical characteristics of polymer composite materials structures, such as shear resistance and transverse separation [2]. To develop such materials, it is necessary to use methods for predicting their mechanical characteristics [3].

At present, to predict the SRCM mechanical properties an approach based on computer simulation of their geometric structure is widely used. Using the constructed models, the problem

of micromechanics for predicting the SRCM mechanical properties is reduced to a set of boundary value problems that can be solved for a fragment of the structure.

Special software packages are used to construct geometric SRCM models. When specifying the parameters of the composite structure, various adjustments are made based on the results of optical microscopy or tomography of the composite materials.

In this work, we propose an algorithm for automatic correction of a SRCM model structure, using the structure parameters obtained from the results of optical microscopic examination.

The use of the developed algorithm made it possible to describe the structure more accurately and to maintain the percentage of the reinforcing frame volumetric fraction for the considered weaving type. A comparison is made of the effective elastic characteristics of the SRCM calculated using the developed numerical models and obtained in the mechanical tests.

References:

1. Anoshkin A.N., Fedorovtsev D.I., Pisarev P.V., Osokin V.M. Calculation of the stress-strain state of a flange made of polymer composite materials with a defect in the form of delamination. Vestnik PNRPU. Aerospace engineering. 2015. No. 4 (43).
2. Bogomolov Pavel Ivanovich, Kozlov Igor Anatolyevich, Birulya Maxim Anatolyevich Review of modern technologies for the manufacture of volume-reinforcing preforms for promising composite materials // ТТРС. 2017. No. 1 (39).
3. Sokolkin Yu.V., Tashkinov A.A. Mechanics of deformation and fracture of structurally inhomogeneous bodies. Publishing house "Science", Moscow, 1984, 115 p.

Применение композиционных материалов в модернизированном компрессоре низкого давления двигателя для регионального пассажирского самолета

Ерофеев Т.С., Равикович Ю.А., Архипов А.Н., Шахов А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в современных авиационных газотурбинных двигателях является важной задачей. В настоящее время применение ПКМ возможно во внешнем воздушном тракте вентилятора авиационного двигателя для не вращающихся деталей, которые не подвергаются высоким нагрузкам. Тем не менее оценка надежности и долговечности деталей ПКМ в эксплуатации является актуальной.

Данная задача решалась при модернизации компрессора низкого давления двигателя для регионального пассажирского самолета. Было предложено использовать ПКМ для изготовления разделителя потоков и внутренних панелей. При проектировании этих деталей необходимо выбрать критерии, учитывающие условия их эксплуатации и особенности ПКМ.

Для предварительной оценки статической и динамической прочности разделителя потоков и внутренних панелей была проведена серия трехмерных конечно-элементных расчетов с учетом анизотропии свойств ПКМ и воспроизведении закрепления деталей на двигателе и эксплуатационных нагрузок. В качестве материала разделителя потоков был предложен эпоксидный углепластик, а в качестве материала панелей внутренних – термопластичный ПКМ. При проведении динамических расчетов были определены собственные частоты колебаний деталей и их близость к роторным гармоникам. При проведении статических расчетов были определены уровни статических напряжений на максимальных режимах работы компрессора и при нерасчетных перегрузках, которые могут возникнуть при обрыве лопаток.

По результатам предварительных расчетов была предложена серия испытаний лабораторных образцов, конструктивных элементов, вырезанных из готовых деталей, и самих деталей на испытательных машинах и на двигателе.

Для выбора формы и режимов испытаний лабораторных образцов были проведены дополнительные трехмерные конечно-элементные расчеты при растяжении, сжатии, изгибе, срезе.

Испытания лабораторных образцов позволили провести сравнение полученных механических свойств со свойствами, заявленными поставщиками ПКМ, и провести более корректную оценку запасов прочности деталей.

Для принятия решения о постановке деталей на двигатель были проведены усталостные и эрозийные испытания конструктивных элементов, вырезанных из готовых деталей, а также испытания деталей на вибростойкость, циклическую прочность и ползучесть.

Окончательное решение о работоспособности деталей из ПКМ было принято после их испытаний в составе модернизированного КНД на двигателе.

Application of composite materials in an upgraded engine low pressure compressor for a regional passenger aircraft

Erofeev T.S., Ravikovich Yu.A., Arkhipov A.N., Shakhov A.S.
MAI, Moscow, Russia

The use of polymer composite materials (PCM) in modern aircraft gas turbine engines is an important task. Currently, the use of PCM is possible in the external air path of an aircraft engine fan for non-rotating parts that are not exposed to high loads. Nevertheless, the assessment of the reliability and durability of PCM parts in operation is relevant.

This problem was solved during the modernization of the engine low pressure compressor for a regional passenger aircraft. It was proposed to use PCM for the manufacture of flow divider and internal panels. When designing these parts, it is necessary to select criteria that take into account the conditions of their operation and the features of the PCM.

For a preliminary assessment of the static and dynamic strength of the flow divider and internal panels, a series of three-dimensional finite element calculations was carried out taking into account the anisotropy of the PCM properties and reproducing the attachment of parts to the engine and operating loads. Epoxy carbon fiber was proposed as the material for the flow separator, and thermoplastic PCM as the material for the inner panels. When carrying out dynamic calculations, the natural vibration frequencies of the parts and their proximity to rotor harmonics were determined. When carrying out static calculations, the levels of static stresses were determined at the maximum operating modes of the compressor and at off-design overloads that may occur when the blades break.

Based on the results of preliminary calculations, a series of tests were proposed for laboratory samples, structural elements cut from finished parts, and the parts themselves on testing machines and on an engine.

To select the shape and test modes of laboratory samples, additional three-dimensional finite element calculations were carried out in tension, compression, bending, shear.

Tests of laboratory samples made it possible to compare the obtained mechanical properties with the properties declared by PCM suppliers and to conduct a more correct assessment of the safety margins of parts.

To make a decision to install parts on the engine, fatigue and erosion tests of structural elements cut from finished parts were carried out, as well as tests of parts for vibration resistance, cyclic strength and creep.

The final decision on the possibility of using of the PCM parts was made after testing them as part of the upgraded LPC on the engine.

Жидкофазное фторирование простых полиэфиров элементарным фтором. Краткий обзор

¹Зайцева А.С., ¹Дурбаева С.К., ¹Белов Н.А., ²Пашкевич Д.С.
²ТПУ, г. Томск, Россия

²СПбПУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Перфторированные полиэферы (ПФПЭ) обладают уникальными свойствами, а именно высокой химической и термической стабильностью, низкой температурой потери текучести (до -100°C), низким давлением паров и др. Они находят свое применение в качестве низкотемпературных смазок, которые незаменимы в авиационно-космической технике и других областях [1,2].

Основным промышленным методом получения ПФПЭ является окислительная олигомеризация тетрафторэтилена и гексафторпропилена. Однако, в этих процессах в структуре ПФПЭ образуется значительное количество пероксидных звеньев, что делает эти процессы не безопасными. Другой метод – жидкофазное фторирование полиэфиров фтором, который позволяет предположить, освоение этого способа на промышленном уровне. Данный процесс проводили в барботажном реакторе, либо в реакторе с мешалкой. В качестве жидкой фазы встречается использование пергалогенированных жидкостей [1]. Недостаток – образование фторидов хлора, обладающих большей реакционной способностью, чем фтор. Возможно использование жидкого диоксида углерода. Недостаток метода – процесс нужно проводить при высоком давлении, чтобы диоксид углерода оставался жидким, образование дифторида-оксида углерода [2].

Работа [3] показала, что в качестве жидкой фазы перспективнее использовать устойчивые к фтору перфторированные соединения, например, перфтордекалин. Растворимость фтора в перфтордекалине достаточно высока – порядка 3–4 см³·см-3·МПа-1 в интервале температуры 20–100°C. Это значит, что выделяющееся тепло поглощается средой и рассеивается за счет перемешивания. В среде перфтордекалина успешно проведено водородзаместительное неструктурное фторирование полифенилоксида.

Работа выполнена в рамках проекта FSWW-2020-0020 при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Литература:

1. Liquid-phase fluorination: United States Patent № 5,753,776; filed Lagow R.J.06.06.1995; date patent 19.05.1998, – 23 p.
2. Fluorination in liquid or supercritical carbon dioxide: United States Patent № 6,426,391; filed Lagow R.J.07.05.1999; date patent 30.07.2002, – 9 p.
3. Blinov I.A., Mukhortov D.A., Yampolskii Y.P., Belov N.A., Alentiev A.Y., Chirkov S.V. Direct fluorination of poly-2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide in perfluorinated liquid medium, *Journal of Fluorine Chemistry* V. 234, 2020, – 10 p.

Liquid-phase fluorination of polyethers by elemental fluorine. A short review

¹Zaitseva A.S., ¹Durbaeva S.K., ¹Belov N.A., ²Pashkevich D.S.

¹TPU, Tomsk, Russia

²SPbPU, Saint-Petersburg, Russia

Perfluorinated polyethers (PFPE) have unique properties: namely, high chemical and thermal resistances, low non-flow points (< -100°C), low vapor pressure and others. They have found application as low-temperature lubricants that are indispensable in extreme space and arctic conditions [1,2].

The most widespread technique of synthesis of PFPEs is an oxidative oligomerization of tetrafluoroethylene and hexafluoropropylene. However, in this case, significant amount of peroxide units occur in the structure of PFPEs that makes the oligomerization process dangerous. Another method of synthesis of PFPEs is liquid-phase fluorination of polyethers. It was implemented by means of bubble or stirred reactors. The liquid phases are usually represented by perhalogenated compounds or carbon dioxide. In the first case, there is possibility of formation of fluorides of chlor that correspond to stronger oxidative reagents in comparison with elemental fluorine while, in the second case, the process is complicated by higher pressures and formation of difluoride-oxide of carbon [2].

Recently, it was demonstrated that application of perfluorocompounds being stable to fluorine (such as perfluorodecalin, perfluorodimethylcyclohexane) are more applicable [3]. The solubility coefficient of fluorine in the perfluorodecalin is rather high and corresponds to c 3–4 cm³·cm-3·МПа-1 in the temperature range of 20–100°C. This fact allows conducting the fluorination in perfluorodecalin liquid phase. In addition, the perfluorinated liquid phase facilitates an effective consumption of reaction heat by due to the higher heat capacity of the phase. Therefore, fluorination of the polymers in the liquid medium can be considered to be the effective way of synthesis of fluorinated polymers.

The work is supported by FSWW-2020-0020 project of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

References:

1. Liquid-phase fluorination: United States Patent № 5,753,776; filed Lagow R.J.06.06.1995; date patent 19.05.1998, – 23 p.
2. Fluorination in liquid or supercritical carbon dioxide: United States Patent № 6,426,391; filed Lagow R.J.07.05.1999; date patent 30.07.2002, – 9 p.
3. Blinov I.A., Mukhortov D.A., Yampolskii Y.P., Belov N.A., Alentiev A.Y., Chirkov S.V. Direct fluorination of poly-2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide in perfluorinated liquid medium, Journal of Fluorine Chemistry V. 234, 2020, – 10 p.

Превентивный подход к обеспечению эксплуатационной безотказности технических систем

¹Кириллин А.В., ²Љубиса Рапиц, ¹Иосифов П.А.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²Исследовательский центр «Надёжность и управление качеством», г. Чачак, Сербия

Эксплуатационная безотказность систем и компонентов авиационной техники, отказы которых сопряжены с последствиями для человека, является приоритетным показателем их качества. Этот показатель существенным образом зависит от организации процесса технического обслуживания (ТО). Теоретической основой этого процесса является раздел теории надёжности – теория восстановления. В теории восстановления рассматриваются в основном внезапные отказы, а информация, необходимая для построения моделей их возникновения собирается на основе анализа функционирования серии идентичных изделий.

При длительной эксплуатации технических систем большую группу составляют параметрические отказы, когда деградиационные процессы старения приводят к недопустимому изменению параметров, влияющих на качество функционирования изделия. Выход таких параметров за определённые для них границы рассматривается за отказ.

При планировании ТО возможны два основных подхода: ТО по нормативу и ТО по фактическому состоянию. Фактическое состояние конкретного изделия зависит как от его срока, так и от условий эксплуатации и может существенно отличаться от средних значений.

Измерение параметров, характеризующих фактическое состояние изделия проводится с погрешностью на порядок меньшей, чем разброс значений этих параметров в партии изделий-аналогов. Все это определяет актуальность перехода к ТО по состоянию.

Ограничениями рассматриваемого подхода к ТО является условие нормальности и линейный характер измеряемого параметра.

Условие нормальности закона распределения вероятностей в пределах допуска опирается на теорию допусков. Метрологическая погрешность измерений также чаще всего имеет нормальное распределение. Более сильным является ограничение линейности модели динамики. Это ограничение может быть частично снято, если перейти к пошаговому алгоритму расчёта продолжительности интервала восстановления при ТО по состоянию с наибольшим временным шагом допускающим кусочно-линейную аппроксимацию.

Интервал восстановления при ТО по состоянию может оказаться как больше, так и меньше нормального. Эффект от внедрения подхода достигается в обоих случаях:

- в первом – экономический;
- во втором – повышение безотказности работы технических систем путём предотвращения возможных отказов.

Переход к ТО по состоянию может быть рекомендован в первую очередь для высоконадёжных изделий; при этом чрезвычайно актуальны исследования по идентификации деградиационных процессов, сопровождающих эксплуатацию этих изделий.

The proactive approach to ensuring the operational reliability of technical systems

¹Kirillin A.V., ²Papic L., ¹Iosifov P.A.

¹MAI, Moscow, Russia

²DQM Research Center, Cacak, Serbia

The operational reliability of aircraft systems and components, the failures of which are associated with consequences for humans, is a priority indicator of their quality. This indicator significantly depends on the organization of maintenance. The theoretical basis of this process is a section of the theory of reliability – the theory of recovery. Recovery theory deals mainly with sudden failures, and the information necessary to build models of their occurrence is collected based on an analysis of the functioning of a series of identical products. During long-term operation of technical systems, a large group consists of parametric failures, when degradation aging processes lead to an unacceptable change in parameters that affect the quality of the product's functioning. The output of such parameters beyond the boundaries defined for them is considered a failure. There are two main approaches to planning maintenance: normative maintenance and condition monitored maintenance (CMM). The actual condition of a particular product depends on both its lifetime and operating conditions and may differ significantly from the average values.

Measurement of the parameters characterizing the actual state of the product is carried out with an error of an order of magnitude less than the spread of the values of these parameters in a batch of analog products. All this determines the relevance of the transition to CMM.

The limits of the considered approach to CMM are the normality condition and the linear nature of the measured parameter.

The condition for the normality of the probability distribution law within the tolerance is based on the theory of tolerances. The metrological measurement error also most often has a normal distribution. A stronger limit is the linearity of the dynamics model. This limit can be partially removed if we go to a step-by-step algorithm for calculating the duration of the recovery interval during CMM from a state with a small time step allowing piecewise linear approximation.

The recovery interval for CMM may be longer or less than normal. The effect of implementing the approach is achieved in both cases:

- 1st – economic;
- 2nd – increasing the reliability of technical systems by preventing possible failures.

The transition to CMM can be recommended primarily for highly reliable products; at the same time, research on the identification of degradation processes accompanying the operation of these products is extremely relevant.

Моделирование испытания на продольное растяжение многослойного образца из углепластика. Влияние различных параметров на форму разрушения

Кисиев А.П., Турбин Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Испытание на растяжение образца из композиционного материала является традиционным практическим инструментом для определения прочности и жесткости. Признанным стандартом проведения такого испытания является ASTM D3039, в котором описываются основные требования, предъявляемые к образцу, оснастке и параметрам нагрузки. В то же время, в стандарте приводится несколько вариантов форм разрушения образца, встречаемых на практике. По умолчанию считается, что наиболее желанная область разрыва находится посередине заготовки (т.н. AGM(1) и AGM(2)). Другие варианты разрушения могут свидетельствовать о неудовлетворительном результате испытаний, как то развитие сдвиговой трещины вдоль образца (SGM). Моделирование испытаний на растяжение методом конечных элементов (МКЭ) может помочь в определении ключевых параметров материала, нагрузки, геометрии образца и оснастки, влияющих на результат испытания.

Целью исследования является нахождение факторов, влияющих на локализацию разрушения при испытании по стандарту ASTM D3039. К числу проверяемых параметров относятся жесткость и прочность слоя композитного материала, геометрия образца и оснастки, толщина и податливость клеявого слоя между оснасткой и образцом. В

дополнение сравниваются результаты работы МКЭ на пространственных и оболочечных элементах, ориентированных и неориентированных сетках, и с разными граничными условиями. Для устранения проблем со сходимостью расчеты проводятся в динамическом решателе Abaqus/Explicit.

Полученные данные могут быть использованы при подготовке и проведении испытаний на растяжение, а также для более качественного осуществления расчетного повторения общей и специальной квалификации материала в МКЭ.

Simulation of tensile test for laminate made of CFRP. Role of different parameters that influence the failure mode type

Kisiev A.P., Turbin N.V.
MAI, Moscow, Russia

The tensile test of composite material sample is a traditional mean of obtaining its strength and stiffness. The standard for conducting this experiment is ASTM D3039, where the general requirements, tooling and parameters of loading are presented. In the meantime the standard provides several modes of sample's failure, which are likely to be met in practice. By default, the failure location in the middle of specimen is the most desirable (denoted as AGM(1) and AGM(2)). Other modes of failure might be treated as unacceptable result of testing, for example splitting of the material parallel to loading direction (denoted as SGM). The simulation via finite elements method (FEM) can become helpful instrument in assessment of sensitivity of localization and nature of failure to different parameters, such as material system used, geometry of the sample and tooling.

This paper aims for recognizing the key aspects, that influence the appearance of failure during ASTM D3039 testing routine. The number of checked parameters includes stiffness and strength of composite lamina, specimen and tooling configuration, thickness and compliance of adhesive layer between tooling and sample. Additionally, the impact of variables of finite element analyses are studied, namely: continuum or shell elements, oriented or non-oriented meshing and boundary conditions. The Abaqus/Explicit solver is used for processing to overcome the difficulties with convergence.

The received dependencies are thought to be practical in preparation and conducting of the test program. Furthermore, the results will contribute to the quality of the computation complement of real testing of coupon and element testing blocks.

Влияние гранулометрического состава имитаторов лунного грунта на возможности получения материалов для строительства лунной базы с использованием аддитивных технологий

Козлов Н.А., Дегтярев С.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Планы освоения Луны требуют создания на ее поверхности долговременных жилых и производственных помещений из местных материалов. В настоящее время рассматриваются различные варианты получения строительных материалов на основе лунного грунта и технологий изготовления из них строительных конструкций, среди которых наиболее перспективным вариантом является применение 3D-технологий. С помощью 3D-печати можно создавать строительные элементы из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе лунного грунта с полимерными добавками, поставляемыми с Земли, которые будут представлять собой матрицу ПКМ, причем в качестве такой матрицы можно использовать как термoplastы, так и реактопласты.

Целью работы состоит в изучении возможностей получения ПКМ на основе имитаторов лунного грунта различного гранулометрического состава и порошкообразных полимерных композиций. Для решения поставленной задачи необходимо подобрать составы-имитаторы лунного грунта с различным гранулометрическим составом, полимерные порошкообразные связующие и изучить технологические свойства (сыпучесть, таблетруемость и др.) таких композиций при максимально допустимом количестве имитатора грунта.

В работе в качестве наполнителя использовали порошки базальта различного гранулометрического состава из Булатовского карьера. Связующим веществом служили порошки эмульсионного полистирола ПСЭ. Содержание связующего варьировалось от 10 мас.% до 30 мас.%.

Для задания гранулометрического состава порошка базальта использовали стандартные сита (1,0 мм; 0,599 мм; 0,251 мм; 0,1 мм и 0,05 мм) в соответствии с ГОСТ 18318-73 путем просеивания порошка. Определение содержания пустот и плотности полученных образцов проводился в соответствии с ГОСТ Р 56679-2015. Образцы получали прессованием смеси наполнитель-связующее в цилиндрической пресс-форме. Диаметр отформованных таблеток составлял 30,0 мм. Формование таблеток осуществляли при различных давлениях до 20 МПа.

В результате исследования были установлена плотность и пористость полученных образцов, а также прочностные характеристики порошковых композиций различного гранулометрического состава и соотношения компонентов на основе имитаторов лунного грунта.

Influence of the granulometric composition of lunar soil simulators on the possibility of obtaining materials for the construction of a lunar base using additive technologies

Kozlov N.A., Degtyarev S.V.
MAI, Moscow, Russia

Plans to develop the moon require the creation of long-term residential and industrial premises on its surface from local materials. Currently, various options are being considered for obtaining building materials based on lunar soil and technologies for manufacturing building structures from them, among which the most promising option is the use of 3D technologies. Using 3D printing, you can create building elements from polymer composite materials (PCM) based on lunar soil with polymer additives supplied from Earth, which will be a PCM matrix, and both thermoplastics and thermoplastics can be used as such a matrix.

The purpose of this work is to study the possibilities of obtaining PCM based on simulators of lunar soil of various granulometric composition and powdered polymer compositions. To solve this problem, it is necessary to select compositions-simulators of lunar soil with different granulometric composition, polymer powdery binders and study the technological properties (flowability, tabletability, etc.) of such compositions with the maximum allowable amount of soil simulator.

In the work the filler used basalt powders of different particle size distribution of Bulatov's career. PSE emulsion polystyrene powders served as the binding agent. The binder content varied from 10 wt.% to 30% by weight.

To set the granulometric composition of basalt powder, standard sieves (1.0 mm; 0.599 mm; 0.251 mm; 0.1 mm and 0.05 mm) were used in accordance with GOST 18318-73 by sifting the powder. The void content and density of the obtained samples were determined in accordance with GOST R 56679-2015. Samples were obtained by pressing a filler-binder mixture in a cylindrical mold. The diameter of the molded tablets was 30.0 mm. The tablets were formed at various pressures up to 20 MPa.

As a result of the study, the density and porosity of the obtained samples were established, as well as the strength characteristics of powder compositions of various granulometric composition and component ratios based on lunar soil simulators.

Исследование морфологии покрытий и параметров электролитов для микродугового оксидирования ультралёгкого магниевого сплава

¹Кондрацкий И.О., ¹Медведцова В.М., ¹Эпельфельд А.В., ¹Крит Б.Л., ²Wu R.Z.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²HEU, г. Харбин, Китай

Магний и его сплавы приобретают все большую распространённость в различных отраслях промышленности. Повышенный интерес к магниевым сплавам обусловлен их особыми свойствами. Главной проблемой является их высокая химическая активность и низкая сопротивляемость коррозионному разрушению. Решением данной проблемы может

быть формирование на поверхности магниевых сплавов защитных покрытий. Перспективным методом модифицирования поверхности металлов и сплавов вентиляльной группы является микродуговое оксидирование (МДО), которое позволяет осуществлять синтез на поверхности изделий из магниевых сплавов керамикоподобных слоев, обладающих высокими прочностью сцепления с основой и коррозионно-защитной способностью.

Объектом исследования был магниевый сплав системы Mg–Li–Al–6Ce, обладающий низкой плотностью и высокой пластичностью содержащий 8% лития, 1% алюминия и 0,6% церия. Образцы в форме пластин с размерами 30x30x3 мм обезжиривали в этиловом спирте, а затем сушили на открытом воздухе в течение 5 минут. МДО-обработка проводилась в анодно-катодном режиме при плотности тока 10 А/дм² и соотношении анодного и катодного токов I_a/I_к=0,9. Температуру электролита поддерживали в интервале 20-25 С. Продолжительность процесса МДО составляла 10 и 25 минут для различных электролитов.

Для повышения коррозионной стойкости магниевое сплава и увеличения прочности сцепления МДО-покрытий с основой за счёт образования дополнительных химических связей, в силикатно-щелочной электролит добавляли фторид калия. Процесс оксидирования магниевое сплава проводили в «стандартном» силикатно-щелочном электролите, обычно применяемом для МДО-обработки алюминиевых сплавов. Анализ данных, показывает, что МДО-обработка позволяет сформировать более толстые покрытия в «стандартном» электролите, а присутствие фторида снижает шероховатость, при этом замедляя рост оксидного слоя.

Измерение кислотности в электролитах показало снижение pH после проведения МДО-обработки. Количество эффективных ионов в электролите за время проведения процесса МДО уменьшилось из-за их инкорпорации в состав формируемого покрытия, происходит синхронное снижение примерно на 5% удельной электропроводности, что говорит о «выработке» электролита.

Таким образом, проведённые исследования и полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических процессов модифицирования ультралёгких магниевых сплавов методом МДО в целях защиты изделий, применяемых в авиакосмической отрасли, энергетике, медицине.

Study of the morphology of coatings and parameters of electrolytes for micro-arc oxidation of ultra-light magnesium alloy

¹Kondratsky I.O., ¹Medvetzkova V.M., ¹Apelfeld A.V., ¹Krit B.L., ²Wu R.Z.

¹MAI, Moscow, Russia

²HEU, Harbin, China

Magnesium and its alloys are becoming increasingly common in various industries. The increased interest in magnesium alloys is conditioned by its special properties. The main problem is their high chemical activity and low resistance to corrosion damage. The solution to this problem can be the formation of protective coatings on the surface of magnesium alloys. A promising method for modifying the surface of metals and alloys of the valve group is microarc oxidation (MAO), which makes it possible to synthesize ceramic-like layers on the surface of items made of magnesium alloys with high adhesion to the base and corrosion-protective ability.

The object of the study was a magnesium alloy of the Mg–Li–Al–6Ce system with a low density and high plasticity, which contains 8% lithium, 1% aluminum and 0.6% cerium. Samples in the form of plates with dimensions of 30x30x3 mm were degreased in ethyl alcohol and then dried in the open air for 5 minutes. MAO treatment was carried out in the anodic-cathodic mode at a current density of 10 A/dm² and a ratio of anodic and cathodic currents I_a/I_к=0.9. The electrolyte temperature was maintained in the range 20-25 С. The duration of the MAO process was 10 and 25 minutes for various electrolytes.

Potassium fluoride was added to the alkaline silicate electrolyte to increase the corrosion resistance of the magnesium alloy and the adhesion strength of MAO coatings to the base due to the formation of additional chemical bonds. The oxidation process of the magnesium alloy was carried

out in a "standard" silicate-alkaline electrolyte, which is usually used for MAO treatment of aluminum alloys. Analysis of the data shows that MAO treatment allows to form thicker coatings in a "standard" electrolyte, and the presence of fluoride reduces the roughness, while slowing down the growth of the oxide layer.

Measurement of acidity in electrolytes showed a decrease in pH after MAO treatment. Amount of Active ions in the electrolyte during the MAO-process decreased due to their incorporation in the composition of the formed coating occurs synchronous decrease by about 5% the conductivity, which indicates the "generation" of the electrolyte.

Thus, the conducted research and the obtained results can be used in the development of technological processes of modifying ultra-light magnesium alloys by MAO in order to protect the products used in air space industry, energy and medicine.

Электроискровое легирование деталей авиационных двигателей из титановых сплавов

¹Корешков А.В., ¹Бойцов А.Г., ²Амуи А.М.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²МУТ, г. Тегеран, Иран

Основным направлением использования Электроискрового легирования (ЭИЛ) титановых сплавов является повышение их служебных характеристик при контактном нагружении. Титан и его сплавы обладают крайне низкими антифрикционными свойствами и сопротивлением изнашиванию, что обусловлено тем, что в процессе контактного взаимодействия (трение, фреттинг) титан активно поглощает кислород воздуха, образуя с ним твердые растворы, упрочняющие зоны контакта и приводя к вырывам металла, низкой адгезией к поверхности углеродородов с длинной цепью молекул.

В докладе рассмотрены результаты комплексных исследований ЭИЛ титановых сплавов высокочастотными разрядами с малой энергией импульса. Приведены данные об особенностях формирования легированного слоя, его структуре и составе. Рассмотрены разработанные технологии многокомпонентного электроискрового легирования, ЭИЛ с введением в межэлектродный промежуток различных веществ. Выполнена оценка влияния ЭИЛ на эксплуатационные свойства деталей (износостойкость, фреттингостойкость, сопротивление эрозии от воздействия абразивных частиц, жаростойкость, термическую стабильность).

Установлено, при ЭИЛ наблюдается существенное увеличение контактной прочности и сопротивления изнашиванию, что связано с насыщением приповерхностных объемов титанового сплава газами воздуха при воздействии электрических разрядов. Материал электрода влияет на формирование оксидных и нитридных фаз, элементный состав легированного слоя. Для деталей пар трения, целесообразно использование двухслойных покрытий, получаемых легированием твердыми и износостойкими материалами (ВК6-М, Т15К6, W, Та, Мо, Сг и др.) с последующим нанесением антифрикционного материала (медь, серебро, бронзы, олово и т.д.). Для повышения жаростойкости и термической стабильности титановых сплавов и при эксплуатации в узлах трения в условиях повышенных температур, перспективно использование многокомпонентных покрытий, содержащих алюминий, хром, никель, дисилицид молибдена.

Рассмотрен опыт применения ЭИЛ для обеспечения служебных свойств широкой номенклатуры деталей из титановых сплавов (гидроцилиндров, втулок, сферических шарниров и др.)

Литература:

1. Грачев М.В., Денисов Л.В., Бойцов А.Г. Фазовый и элементный состав поверхностного слоя после электроискрового легирования. // Труды ГОСНИТИ / Всерос. науч.-исслед. технол. ин-т ремонта и эксплуатации маш.-тракт. парка.-Москва, 2010.-Т. 106.-С. 47-49.-Рез. англ.-Библиогр.: с.49. Шифр 738165.

Electric spark alloying of aircraft engine parts made of titanium alloys

¹Koreshkov A.V., ¹Boytsov A.G., ²Amui A.M.

¹MAI, Moscow, Russia

²MUT, Tehran, Iran

The basic aim of using electrospark alloying of titanium alloys is to boost their service characteristics in contact loading. Titanium and its alloys have extremely low antifriction and wear resistant properties because in contact interaction (friction, fretting) titanium actively absorbs air oxygen forming solid solutions, which strengthen the contact zones, and leading to metal breakouts and low adhesion to the surface of hydrocarbons with a long chain of molecules.

The report considers the integral studies results of electrospark alloying of titanium alloys by high-frequency discharges with low pulse energy. It also provides data on special features of alloyed layer forming, its structure and makeup. The paper examines the designed technologies of multicomponent electrospark alloying with addition of various substances in the interelectrode gap. The authors evaluate the electrospark alloying effect on service properties of component parts (wear resistance, fretting resistance, erosion resistance from abrasive particles, heat resistance and thermal stability).

The authors find out that electrospark alloying leads to essential increase of contact strength and wear resistance due to subsurface titanium alloy saturation with air gases on exposure of electric discharges. The electrode material affects the forming of oxide and nitride phases and element composition of the alloyed layer. For the parts of friction couples, it is reasonable to use double-layer coatings made by alloying with solid and wear resistant materials (VK6-M, T15K6, W, Ta, Mo, Cr etc) and following laying of antifriction material (copper, silver, bronze, tin etc). The use of multicomponent coatings containing aluminium, chromium, nickel, disilicide of molybdenum is promising method to increase the heat resistance and thermal stability of titanium alloys and of friction units operating at high temperatures.

The report examines the experience of electrospark alloying application to provide service properties of a wide range of parts made of titanium alloys (hydraulic cylinders, hubs, spherical joints etc).

References:

1. Grachev M.V., Denisov L.V., Boytsov A.G. Fazovyj i jelementnyj sostav poverhnostnogo sloja posle jelektroiskrovogo legirovanija [Phase and element makeup of surface layer after electrospark alloying]. Proceedings of GOSNTI, 2010, vol.106, pp. 47-49 (in Russian).

Пути исследования влияния толщины клеевого слоя на прочностные показатели клеевых соединений

Костин В.А., Насонов Ф.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из приоритетных задач при проектировании авиационной техники является снижение массы летательных аппаратов. Клеевые соединения элементов авиационных конструкций имеют неоспоримое преимущество в весовом отношении перед механическими соединениями. Для клеевых соединений прочность и долговечность в значительной степени зависят от толщины клеевого слоя. Поэтому целью данной работы является исследование влияния толщины клеевого слоя на несущую способность и ресурс соединений из конструкционных углепластиков, применяемых в авиационной технике.

Для клеевых соединений прочность и долговечность в значительной степени зависят от толщины клеевого слоя. Поэтому целью данной работы является исследование влияния толщины клеевого слоя на несущую способность и ресурс соединений из конструкционных углепластиков, применяемых в авиационной технике.

Основными проблемами, стоящими на пути эффективного внедрения высокопрочных клеевых соединений, являются:

1. Препятствуются требования к обеспечению прочности и долговечности клеевых соединений, эксплуатационным характеристикам и долговечности клеевых соединений к факторам внешней среды.

2. Необходимость комплексной технологической подготовки склеиваемых поверхностей соединяемых узлов.

3. Очевидна деградация свойств клеевых композиций в случае нарушений или даже незначительных отклонений в технологических процессах склеивания деталей.

4. Необходимость обеспечения неразрушающего контроля адгезионно скрепленных соединений в различных конструктивных вариантах.

В эксперименте использовались, и предполагается использовать отечественные клеи холодного отверждения ВК-9, ВК-27 на эпоксидной основе и высокопрочный клей горячего отверждения ВК-36 на эпоксидной основе.

Объектами исследования являются образцы клеевых соединений из углепластика на основе эпоксидной матрицы и результаты их испытаний на сдвиг клеевого соединения и на отрыв (растяжение). К проектированию, изготовлению и испытанию представлены несколько конструктивных вариантов образцов на равномерный отрыв, на сдвиг клеевого соединения

Methods of research the influence of the thickness of the adhesive layer on the strength of adhesive joints

Kostin V.A., Nasonov F.A.

MAI, Moscow, Russia

One of the priority tasks in the design of aviation equipment is to reduce the weight of aircraft. Adhesive joints of elements of aircraft structures have an undeniable weight advantage over mechanical joints. For adhesive joints, the strength and durability largely depend on the thickness of the adhesive layer. Therefore, the purpose of this work is to study the effect of the thickness of the adhesive layer on the load-bearing capacity and resource of structural carbon fiber joints used in the aircraft industry.

For adhesive joints, the strength and durability largely depend on the thickness of the adhesive layer. Therefore, the purpose of this work is to study the effect of the thickness of the adhesive layer on the load-bearing capacity and resource of structural carbon fiber joints used in the aircraft industry.

The main problems that stand in the way of effective implementation of high-strength adhesive joints are:

1. There are requirements to ensure the strength and durability of adhesive joints, performance characteristics and durability of adhesive joints to environmental factors.

2. The necessity for complex technological preparation of the glued surfaces of the connected nodes.

3. Obvious degradation of the properties of adhesive compositions in the event of violations or even minor deviations in the technological processes of gluing parts.

4. The necessity to ensure non-destructive testing of adhesive bonded joints in various design options.

In the experiment, domestic cold-curing adhesives ВК-9, ВК-27 on an epoxy basis and high-strength hot-curing glue ВК-36 on an epoxy basis were used and are expected to be used.

The objects of research are samples of carbon fiber adhesive compounds based on an epoxy matrix and the results of their tests for shear of the adhesive compound and for separation (stretching). Several design variants of samples for uniform separation and shear of the adhesive joint are presented for design, manufacture and testing.

Подходы к моделированию повреждений изделий из ПКМ в обеспечение живучести и их экспериментальное обоснование

Крылов Я.В.

ИНУМиТ, г. Москва, Россия

Одним из подходов к определению остаточной прочности при наличии повреждений категории 3 в компонентах авиационных конструкций на основе ПКМ является использование МКЭ с удалением части сетки в области повреждения и последующий анализ НДС полученной модели. Предполагается, что фактическое повреждение произвольного

вида создает меньшую концентрацию напряжений, чем модельное повреждение, имеющее четырёхугольную форму, и такой подход консервативен. Кроме того, для определения остаточной прочности при наличии повреждений категорий 1 и 2 в компонентах авиационных конструкций на основе ПКМ используют в качестве предела прочности при растяжении значения, получаемые при испытаниях образцов, имеющих круглое отверстие. В действительности повреждения от дискретного источника бесформенны и могут оказывать на несущую способность компонентов конструкций не то же влияние, что круглые отверстия.

Для выяснения связи между формой повреждения в композитной детали и её остаточной прочностью проведены испытания образцов из углепластиков T107/01 и T107/02 с отверстиями различной формы, имитирующими повреждения. Также выполнено конечно-элементное моделирование испытанных образцов и их расчёт в Nastran с учётом прогрессирующего разрушения.

Получено, что образцы с круглыми отверстиями не обладают наибольшей остаточной прочностью. Кроме того, и квадратные и прямоугольные отверстия не дают выигрыша в остаточной прочности, будучи ориентированными под углами, отличными от 0° и 45° относительно волокон слоёв ПКМ. Это говорит о том, что оценки остаточной прочности деталей с повреждениями категорий 1 и 2 при помощи опытных данных для образцов с круглыми отверстиями консервативны, но подход к моделированию повреждений посредством удаления четырёхугольных элементов в модели некорректен, если стороны этих элементов ориентированы вдоль волокон какого-либо слоя.

Интересно то, что традиционный ремонт деталей из ПКМ, при котором повреждения высверливают с последующим заполнением отверстия, на основе полученных результатов не представляется оптимальным. Проведено моделирование растянутых вдоль длинных сторон панелей с двумя различными укладками. Рассмотрено по три случая для каждой панели: исходное повреждение в виде треугольника; повреждение устранено высверливанием минимального круглого отверстия; повреждение устранено вырезанием прямоугольника, ориентированного вдоль волокон. Наибольшей остаточной прочностью обладают панели, в которых повреждение устранено с учётом направления волокон.

Approaches to modeling damage to PCM products to ensure survivability and their experimental justification

Krylov Y.V.

INCMaT, Moscow, Russia

A common approach to assessment of CFRP airframe panels residual strength in presence of the 3rd category damages consists in FEM analysis based on a model with partially deleted mesh in the location of a damage. It is supposed that actual damages of an arbitrary shape result in less stress concentration than a model quad-shaped damage, thus the approach is conservative. Furthermore, OHT test data is normally used as ultimate stress values for analysis of CFRP aircraft structures with damages of 1st and 2nd categories, and such tests utilize specimens with round holes. In fact, real damage is usually shapeless therefore it can affect residual strength of structural components in some other way than a round hole.

A series of tests was conducted to find out if there is a relation between damage shape and residual strength of a damaged CFRP panel. T107/01 and T017/02 coupons with holes of a different shape were used. FE modelling of these coupons was performed with Nastran, SOL 400 (Gradual option).

It was found that coupons with round holes cannot get maximum residual strength. Besides, coupons with quad-shaped holes do not show any gain if angles between edges of these holes and ply fiber direction are different from 0 or 45 degrees. It confirms that use of OHT test data for assessment of CFRP panels residual strength in presence of 1st and 2nd category damages is conservative. However, deletion of quad elements with edges oriented along composite material fibers in shell models appeared to be incorrect as it corresponds to damaged panels with higher residual strength.

An interesting observation was obtained: traditional method of repair of CFRP panels with drilling out of a damage (and consequent filling it) seems to be not optimal according to the results of this investigation. Two CFRP panels in tension, different by layout, were modelled. Each panel was considered in three different cases: with a triangular initial damage (where hole edges are not parallel to material ply fibers); with a round repair hole; with a rectangular repair hole (where edges are parallel to material ply fibers). The highest residual strength corresponds to the panels with the damage reshaped by a rectangular hole.

Исследование влияния формы лонжерона на угол кручения управляемой SMART лопасти

Кунгурцева Е.Г., Писарев П.В., Аношкин А.Н.
ПНИПУ, г. Пермь, Россия

Во время полета основными источниками вибрационных нагрузок и шума в вертолетах является несущий винт [1]. В настоящее время для снижения вибраций используют индивидуальное управление лопастями, которое заключается в применении конструкций с управляемой геометрией [2, 3]. Целью настоящей работы является исследование влияния формы лонжерона лопасти с управляемой геометрией на угол кручения.

Объектом данного исследования является вертолетная SMART лопасть, выполненная равнопрочного текстильного стеклопластика. В качестве технологии активного управления SMART лопасти была использована концепция Active Twist. Моделирование механического поведения управляемой SMART лопасти со встроенными пьезоактуаторами осуществлялось при помощи численно-аналитических методов решения связанных краевых задач электромагнитоупругости для неоднородных сред с пьезоактивными элементами структуры. В рамках вычислительных экспериментов осуществлялся расчет напряженно-деформированного состояния лопасти при уровне управляющего электрического напряжения 1000 В. Рассматривалось четыре варианта геометрии лонжерона: а) лонжерон С-образной формы; б) лонжерон С-образной формы с укороченным «поясом» с внутренним профилем 1 мм; в) тонкостенный лонжерон D-образной формы с удлиненным «поясом» и смещенной влево «стенкой»; г) тонкостенный лонжерон D-образной формы с удлиненным «поясом».

В результате численных экспериментов были получены поля перемещений, напряжений и деформаций. Осуществлен численный расчет максимальных углов закручивания. Выявлены конструкции, отвечающие требованиям по максимальному углу кручения.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Пермского края С-26/797 от 21.12.2017.

Литература:

1. Pisarev P.V., Anoshkin A.N., Ermakov D.A. Numerical calculation of mechanical and thermophysical characteristics of composite materials with piezoelectric structural elements / MATERIALS TODAY-PROCEEDINGS Том: 11 Стр.: 446-452 Часть: 1.
2. E Barkanov, A N Anoshkin, P V Pisarev and V A Ashilmin Research of the Piezo Actuator Location Influence on the Twist Angle of a Model Helicopter Blade Made of Polymer Composite Materials / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 511 (2019) 012029.
3. Grinev, M.A., Anoshkin, A.N., Pisarev, P.V., Zuiko, V.Y., Shipunov, G.S., Mathematical modeling of the stress-strain state of the outlet guide vane made of various materials / AIP Conference Proceedings, 2016.

Research of a spar shape influence on a smart rotor blade torsion angle

Kungurtseva E.G., Pisarev P.V., Anoshkin A.N.
PNRPU, Perm, Russia

During the flight, the main source of vibration and noise in helicopters is the main rotor [1]. At present, individual blade control, specifically the use of structures with controlled geometry, is implemented to reduce the vibrations [2, 3]. The purpose of this work is to investigate the influence of a helicopter blade with controlled geometry spar shape on the blade torsion angle.

The object of this research was a helicopter SMART blade made of equal strength textile fiberglass. The Active Twist concept was used as the SMART blade active control technology. The simulation of the mechanical behavior of a SMART-controlled blade with built-in piezo actuators was carried out using numerical-analytical methods for solving coupled boundary value problems of electromagnetoelasticity for inhomogeneous media with piezoelectric structure elements. During the computational experiments, the blade stress-strain state was calculated at a control voltage of 1000 V. Four variants of the spar geometry were considered: a). the C-shaped spar; b). the C-shaped spar with a shortened "belt" with an internal profile of 1 mm; at). the thin-walled D-shaped spar with an elongated "belt" and a "wall" shifted to the left; d) the thin-walled D-shaped spar with an elongated "belt".

As a result of numerical experiments, displacement, stress and strain fields were obtained. A numerical calculation of the maximum twist angles was carried out. Blade designs were identified that meet the requirements for the maximum torsion angle.

The reported study was partially supported by the Government Perm Krai, research project No. C-26/797 dated 12/21/2017.

References:

1. Pisarev P.V., Anoshkin A.N., Ermakov D.A. Numerical calculation of mechanical and thermophysical characteristics of composite materials with piezoelectric structural elements / MATERIALS TODAY-PROCEEDINGS Volume: 11 Pages: 446-452 Part: 1.
2. E Barkanov, A N Anoshkin, P V Pisarev and V A Ashilmin Research of the Piezo Actuator Location Influence on the Twist Angle of a Model Helicopter Blade Made of Polymer Composite Materials / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 511 (2019) 012029.
3. Grinev, M.A., Anoshkin, A.N., Pisarev, P.V., Zuiko, V.Y., Shipunov, G.S., Mathematical modeling of the stress-strain state of the outlet guide vane made of various materials / AIP Conference Proceedings, 2016.

Применение композиционных материалов с «памятью формы» при проектировании подкрепляющих конструкций

Куприянова Я.А., Парафесь С.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

При размещении беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в корпусе транспортно-пускового контейнера (ТПК) возникает необходимость создать надежное закрепление изделия, защитить его от возможных механических повреждений, возникающих при транспортировке, обеспечив при этом бесперебойный запуск БПЛА.

Возможным решением этой задачи, особенно при разработке БПЛА малого диаметра, может быть использование специального шпангоута, выполненного из композитного материала с «памятью формы». В таком материале совмещается функция конструкционного материала с функцией энергии и привода, а принцип действия основан на наличии эластомерной и стеклукемой фаз, образующих шпунтовую структуру. Основная форма запоминается в виде сетки связей в стеклукемой фазе, а энергия, необходимая для разворачивания формы, накапливается в виде напряжений в эластомерных сегментах полимера [1].

Известен композит на основе полиуретановой матрицы и углеткани, обладающий эффектом памяти формы, с коэффициентом восстановления формы около 100%, временем восстановления 2 мин и температурой активизации восстановления композита в первоначальную форму 46°C [2].

В данной работе разрабатывается технология изготовления шпангоута ТПК с «памятью формы» для фиксации БПЛА без использования дополнительных крепежных соединений. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния шпангоута в трех состояниях, соответствующих хранению, транспортировке и запуску БПЛА. В качестве материала обшивки выбран стеклопластик, в качестве материала шпангоутов – композит из стеклосетки, пропитанной высокоэластичным связующим. Проектирование проводилось в системе 3D моделирования SOLID WORKS.

Литература:

1. Аристов В.Ф., Чернышенко А.О. Композиты с эффектом памяти формы для создания саморазворачивающихся конструкций космического назначения // Решетневские чтения. 2015. Т. 1. С: 67–68.
2. Воронина С.Ю., Власов А.Ю., Пасечник К.А., Обверткин И.В. Оценка интеллектуальных свойств композита на основе полимерной матрицы с памятью формы в разрываемых конструкциях // Решетневские чтения. 2018. Т. 1. С. 93–94.

Application of composite materials with "shape memory" in the design of reinforcing structures

Kupriyanova Y.A., Parafes S.G.
MAI, Moscow, Russia

When placing an unmanned aerial vehicle (UAV) in the body of a launching transporting container, it becomes necessary to create a reliable fastening of the product, protect it from possible mechanical damage that occurs during transportation, while ensuring uninterrupted launch of the UAV.

A possible solution to this problem, especially when developing small-diameter UAVs, may be the use of a special frame made of composite material with "shape memory". In this material, the function of the structural material is combined with the function of energy and drive, and the principle of operation is based on the presence of elastomeric and glassy phases that form a cross-linked structure. The main shape is stored as a grid of bonds in the glass phase, and the energy required to unfold the shape is accumulated in the form of stresses in the elastomeric segments of the polymer [1].

A composite based on a polyurethane matrix and carbon fiber is known, which has a shape memory effect, with a shape recovery coefficient of about 100%, a recovery time of 2 minutes, and an activation temperature of 46° C for restoring the composite to its original shape [2].

In this paper, we develop a technology for manufacturing the launching transporting container frame with "shape memory" for fixing the UAV without using additional fasteners. A study of the stress-strain state of the frame in three States corresponding to the storage, transportation and launch of the UAV was carried out. Fiberglass was chosen as the covering material, and a composite of glass mesh impregnated with a highly elastic binder was chosen as the frame material. The design was carried out in the 3D modeling system SOLID WORKS.

References:

1. Aristov, V.F., Chernyshenko, A.O. Composites with shape memory effect to develop self-deploying structures for space application. Reshetnev readings, 2015, vol. 1, pp. 67-68.
2. Voronina S.Y., Vlasov A.Y., Pasechnic K.A., Obvertkin I.V. Evaluation of intelligent properties of a composite on the basis of a polymer matrix with the shape memory effect of a form in reflector designs. Reshetnev readings, 2018, vol. 1, pp. 93-94.

Обобщенные гамильтоны формулировки моделей высшего порядка функционально-градиентных оболочек

¹Курбатов А.С., ²Жаворонок С.И.

¹МАИ, ²ИИРИМ РАН, г. Москва, Россия

Предложены два различных варианта обобщенной гамильтоновой формулировки начально-краевой задачи общей теории неоднородных анизотропных оболочек N-го порядка, соответствующие бесконечномерному фазовому пространству с одной эволюционной переменной или формализму де Дондера – Вейля – Кильчевского. За основу принята формулировка модели оболочки как Лагранжевой двумерной континуальной системы с конфигурационным пространством, образованным N+1 векторной переменной поля, поверхностной и контурной плотностями функционала Лагранжа и уравнениями связей, образуемых краевыми условиями, перенесенными с лицевых на базовую поверхность оболочки. В частном случае элементарной теории N-го порядка оболочка рассматривается как свободная система, краевые условия на лицевых поверхностях удовлетворяются приближенно. Формализм Лича подразумевает преобразование Лежандра по обобщенным

скоростям, что приводит к системе уравнений в частных производных первого порядка по времени и второго – по пространственным переменным. Применение формализма Кильчевского, т. е. преобразования Лежандра по всем независимым переменным (как по времени, так и по криволинейным координатам на двумерном многообразии), приводит, в свою очередь, к системе с конечномерным фазовым пространством с обобщенными импульсами и обобщенными напряжениями. Приведены основные законы сохранения, введены в рассмотрение первые интегралы модели оболочки N -го порядка. Формализм Кильчевского позволяет построить систему уравнений первого порядка гамильтонова типа в том числе и для задач статики оболочек. В частности, для одномерной задачи уравнения движения и определяющие соотношения модели оболочки N -го порядка образуют систему обыкновенных дифференциальных уравнений в канонической гамильтоновой форме. Рассмотрена осесимметричная постановка задачи статики для полубесконечной цилиндрической толстостенной оболочки, выполненной из упругого функционально-градиентного материала, получена формулировка спектральной задачи, построено ее аналитическое решение, вычислены собственные значения и собственные функции. Описаны решения для функционально-градиентной цилиндрической оболочки с различной скоростью затухания по осевой координате.

Generalized Hamiltonian formulations of higher-order models of functional gradient shells

¹Kurbatov A.S., ²Zhavoronok S.I.

¹MAI, ²IAM RAS, Moscow, Russia

Two different versions of the generalized Hamiltonian formulation of the initial boundary value problem of the General theory of inhomogeneous anisotropic shells of the N th order are proposed, corresponding to an infinite-dimensional phase space with one evolutionary variable or to the de Donder-Weyl-Kilchevsky formalism. It is based on the formulation of the shell model as a Lagrangian two-dimensional continuum system with a configuration space formed by the $N+1$ vector field variable, the surface and contour densities of the Lagrange functional, and the equations of relations formed by boundary conditions transferred from the front to the base surface of the shell. In the special case of the elementary theory of the N -th order, the shell is considered as a free system, and the boundary conditions on the face surfaces are satisfied approximately. The formalism of the Leech involves the Legendre transform on generalized speeds, which leads to the system of equations of the first order in time and second in spatial variables. The application of the Kilchevsky formalism, i.e. the Legendre transformation over all independent variables (both in time and in curved coordinates on a two-dimensional manifold), leads, in turn, to a system with a finite-dimensional phase space with generalized momenta and generalized stresses. The basic conservation laws are given, and the first integrals of the n -order shell model are introduced. The Kilchevsky formalism allows us to construct a system of first-order equations of the Hamiltonian type, including for problems of shell statics. In particular, for a one-dimensional problem, the equations of motion and the defining relations of the n -order shell model form a system of ordinary differential equations in canonical Hamiltonian form. An axisymmetric formulation of the static problem for a semi-infinite cylindrical thick-walled shell made of elastic functional-gradient material is considered, a formulation of the spectral problem is obtained, its analytical solution is constructed, and eigenvalues and eigenfunctions are calculated. Solutions for a functionally graded cylindrical shell with different damping rates along the axial coordinate are described.

Решение задач динамики функционально-градиентных (FGM) цилиндрических оболочек с применением методов механики Гамильтона

¹Курбатов А.С., ²Жаворонок С.И.

¹МАИ, ²ИПРИМ РАН, г. Москва, Россия

Рассматривается задача о поперечных колебаниях цилиндрических оболочек, выполненных из функционально-градиентного материала, при движении внутри неё жидкости. Рассматривается несколько законов изменения свойств по толщине оболочки: ступенчатый, степенной и экспоненциальный. Дифференциальные уравнения движения,

выраженные в безразмерных величинах, получены с использованием принципа Гамильтона. Для решения задачи применяются методы симплектической геометрии, являющиеся, используя которые, функция прогиба трубы представляются в виде ряда, в котором каждый член выражается разрешающей функцией, умноженную на обобщенную координату. Затем дифференциальное уравнение движения дискретизируется в дифференциальные уравнения второго порядка, выраженные в обобщенных координатах. На основе симплектической теории упругости выводятся уравнения Гамильтона, а исходная задача сводится к задаче о собственных значениях и собственных векторах в симплектическом пространстве. В результате, симплектический метод используется для анализа вибрации и стабильности жидкости, транспортируемой по трубам ФГМ. Для зажатой по торцам ФГМ трубы, с движущейся внутри жидкостью, получены безразмерная критическая скорость потока для дивергенции первой Моды и критическая скорость флаттера связанной моды. Построены аналитические решения для простейших случаев, которые послужили верификационными моделями для численного решения общей постановки задачи. Подробно проанализировано влияние показателя степенного закона на комплексную частоту и критическую скорость потока жидкости, проходяще по трубам из ФГМ.

Solving problems of dynamics of functional gradient (FGM) cylindrical shells using methods of Hamilton mechanics

¹Kurbatov A.S., ²Zhavoronok S.I.

¹MAI, ²IAM RAS, Moscow, Russia

The problem of transverse vibrations of cylindrical shells made of a functional gradient material when a liquid moves inside it is considered. We consider several laws of changing properties over the thickness of the shell: stepwise, power-law, and exponential. Differential equations of motion expressed in dimensionless values are obtained using the Hamilton principle. To solve the problem, methods of symplectic geometry are used. Using them, the pipe deflection function is represented as a series in which each term is expressed by a resolving function multiplied by a generalized coordinate. The differential equation of motion is then discretized into second-order differential equations expressed in generalized coordinates. The Hamilton equations are derived from the symplectic theory of elasticity, and the original problem is reduced to the problem of eigenvalues and eigenvectors in a symplectic space. As a result, the symplectic method is used to analyze the vibration and stability of the liquid transported through the FGM pipes. A dimensionless critical flow velocity for the divergence of the first Mode and the critical flutter velocity of the bound mode are obtained for a pipe clamped at the ends of the FGM with a fluid moving inside. Analytical solutions for the simplest cases were constructed, which served as verification models for the numerical solution of the General problem statement. The influence of the power law exponent on the complex frequency and critical velocity of the liquid flow through the pipes from the FGM is analyzed in detail.

Численно-аналитический способ решения обратной задачи идентификации свойств композиционного материала, основанный на резонансном методе

¹Курбатов А.С., ²Исаченко И.А.

¹МАИ, ²ИПРИМ РАН, г. Москва, Россия

Резонансный метод идентификации свойств материала основан на зависимости между динамическим поведением конструкции и упругими свойствами используемых материалов. В качестве объекта исследования рассматривается многослойная пластина с ортотропными слоями переменной толщины. Особое внимание уделено трехслойным моделям, в которых два слоя гораздо тоньше третьего. Такие задачи возникают при решении задач о материале с покрытиями различного назначения. Были построены системы уравнений для прямой и обратной задачи теории упругости. Решение параметрической задачи по поиску собственных значений строилось с использованием методов механики Гамильтона, что позволило редуцировать число уравнений и повысить эффективность численной модели. В случае изотропных свойств компонент для слоев одинаковой толщины удалось получить аналитическую зависимость между модулями упругости слоев и набором первых

собственных частот пакета. Для построения общей задачи идентификации строилась конечно-элементная модель с применением пользовательских уравнений. Данная процедура позволила не только повысить сходимость решения, но и сократить время расчета. Численное решение задачи сравнивалось с данными эксперимента. Результаты показали хорошую сходимость и позволили выявить эффект анизотропности свойств изотропных материалов, вызванных технологией производства. Представленный метод позволяет производить неразрушающую идентификацию свойств компонент многослойных конструкций, в том числе с сильно различающимися толщинами.

A numerical-analytical method for solving the inverse problem of identifying the properties of a composite material based on the resonance method

¹Kurbatov A.S., ²Isachenko I.A.

¹MAI, ²IAM RAS, Moscow, Russia

The resonant method for identifying material properties is based on the relationship between the dynamic behavior of the structure and the elastic properties of the materials used. The object of research is a multilayer plate with orthotropic layers of variable thickness. Special attention is paid to three-layer models, in which two layers are much thinner than the third. Such problems arise when solving problems about a material with coatings for various purposes. Systems of equations for the forward and inverse problems of elasticity theory were constructed. The solution of the parametric problem of finding eigenvalues was constructed using methods of Hamilton mechanics, which made it possible to reduce the number of equations and increase the efficiency of the numerical model. In the case of isotropic properties of components for layers of the same thickness, it was possible to obtain an analytical relationship between the elastic modules of the layers and the set of the first natural frequencies of the packet. To construct a General identification problem, a finite element model was constructed using user-defined equations. This procedure allowed not only to increase the convergence of the solution, but also to reduce the calculation time. The numerical solution of the problem was compared with experimental data. The results showed good convergence and revealed the effect of anisotropy of the properties of isotropic materials caused by the production technology. The presented method allows non-destructive identification of the properties of components of multilayer structures, including those with very different thicknesses.

Разработка методики топологической оптимизации конструкций из композиционных материалов с учетом анизотропии материала

Суркин Е.И., Кишов Е.А., Лукьянов О.Е., Эспиноса Б.О.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Короткоармированные композиционные материалы используются при создании пространственно-нагруженных деталей сложной топологии, в случаях, когда слоистые композиты сталкиваются с проблемой расслоения. Использование полиэфирэфиркетона, армированного короткими угловыми волокнами позволило снизить вес и стоимость изготовления узла навески двери Airbus A350-900 на 40%. Топологическая оптимизация силовых конструкций – эффективный метод отыскания их оптимальной формы. Короткоармированный композиционный материал анизотропен, а его свойства зависят от ориентации армирующих волокон, определяемой процессом литья конструкции. Отличие характеристик материала в различных направлениях и в различных точках конструкции требует доработки алгоритма топологической оптимизации.

Целью данной работы является разработка методики топологической оптимизации высоконагруженных деталей из короткоармированного материала с учётом анизотропии его свойств, определяемой на основе описания гидродинамики литья композита. Предложена методика, позволяющая на каждом шаге цикла топологической оптимизации решать многодисциплинарную задачу – проводить расчет литья редуцированной области сетки, определять актуальные свойства материала в каждой точке конструкции, и проводить расчет напряженно-деформированного состояния тела переменной плотности. Для обновления информации об ориентации волокон на шагах топологической оптимизации проводится редуцирование конечно-элементной сетки проектной области и расчет литья

редуцированной модели в системе Autodesk Moldflow с использованием Synergy API. Свойства материалов обновляются с использованием кода на языке C, реализующего схем за рамки у гомогенизации Мори-Танака. Цикл топологической оптимизации реализуется в Ansys Workbench.

Исследован вопрос проектирования кронштейна из короткоармированного композита в условиях плоского нагружения. Поставлена задача минимизации податливости кронштейна заданной массы с учётом технологических ограничений – направления разреза пресс-формы и минимального размера элементов конструкции. Проведено сравнение решений, полученных с учетом анизотропии материала и в изотропной постановке. Показано, что учёт анизотропии материала приводит к повышению жесткости конструкции по сравнению с изотропным решением, а также смещает линии спая за рамки силовых элементов конструкции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-31-20071 мол_а_вед.

Development of a technique for topological optimization of composite structures considering the material anisotropy

Kurkin E.I., Kishov E.A., Lukyanov O.E., Espinosa B.O.

²Samara University, Samara, Russia

Short-reinforced composite materials are used for creating spatially loaded parts of complex topology, in cases where laminates face the delamination failure. The use of Victrex PEEK 90HMF40 reduces the weight and costs of the Airbus A350-900 cabin doors bracket by 40%. Structures topological optimization is an effective method for finding their optimal shape. The short-reinforced composite material is anisotropic, and its properties depend on the orientation of the reinforced fibers determined by the injection molding process. The distinction in the material characteristics in different directions and at different points of the structure requires improvement of the topological optimization algorithm.

The purpose of this work is to develop a technique for the topological optimization of high-loaded parts made of short-reinforced material considering the material anisotropy, which is determined on the basis of the hydrodynamic effect of an injection molding process. The proposed technique allows solving a multidisciplinary problem at steps of the topological optimization cycle: simulation of the injection of a reduced mesh area, determining the actual properties of the material at each point of the structure, and calculating the stress-strain state of a body of variable density. To update the information regarding the fiber orientation at the topological optimization steps the finite element mesh of the design area is reduced and the injection on the reduced mesh is calculated in the Autodesk Moldflow system using the Synergy API. The material properties are updated using a C code that implements the Mori-Tanaka homogenization scheme. The topological optimization cycle is implemented in Ansys Workbench.

The design of a short-reinforced composite bracket under in-plane loading conditions was investigated. The goal was to minimize the compliance of the bracket of defined mass within the manufacturing constraints – the pull-out direction in both directions and the minimum member size of the structural elements. The solutions obtained with the anisotropic and the isotropic formulations are compared. It is shown that consideration of material anisotropy leads to an increase in the stiffness of the structure in comparison with the isotropic solution and displaces the welding lines beyond the structural elements.

The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research (RFBR) according to the research project N. 18-31-20071 мол_а_вед.

Методы экспериментального исследования конструкций радиопрозрачных укрытий, поиска и локализации дефектов

Ларин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Для защиты антенных устройств радиотехнических станций (РТС) от воздействий внешней среды используются различные радиопрозрачные укрытия (РПУ).

Главным электротехническим требованием к РПУ является требование внесения минимальных искажений электромагнитной волны (ЭМВ) при сохранении прочностных и защитных свойств. Для беспрепятственного прохождения ЭМВ, при сохранении высокой механической прочности, при изготовлении РПУ, применяются композитные материалы.

В конструкциях таких РПУ встречаются различные виды дефектов (расслоения, трещины, инородные включения и др.).

Дефекты могут ухудшать как механические, так и электротехнические свойства РПУ, поэтому задача обнаружения и локализации дефектов в конструкции РПУ с одновременным контролем его электротехнических свойств, в процессе производства и эксплуатации, является актуальной.

Для решения данной задачи производится контроль электротехнических свойств РПУ – измерение величины потерь. По распределению значения величины потерь осуществляется обнаружение дефектных участков. Известные способы измерения величины потерь энергии имеют существенные ограничения применимости, связанные с влиянием переотражений сигнала (от РПУ и иных объектов (стены, пол, потолок и пр.)) на результаты (точность) измерений.

С целью преодоления указанных ограничений предложен метод измерения потерь в обтекателе с использованием временной селекции, позволяющий снизить влияние переотражений сигнала на результат измерений. В рамках предложенного способа осуществляется расчёт ширины временного окна исходя и из условий измерительного полигона, и последующая фильтрация сигнала во временной области с наложением рассчитанного ранее временного окна.

С целью поиска и локализации обнаруженных дефектов предложен метод дефектоскопии основанный на указанном выше методе измерения величины потерь с применением цифровых методов обработки. В основе метода лежит формула детектирования дефектов и подсчета суммарной площади по заданному пороговому значению величины потерь. С целью локализации дефектов и оценки их формы, осуществляется построение цифровых изображений.

С целью изучения структуры и характера дефекта, предложен метод детектирования дефектов, отличающийся применением в формуле детектирования ряда поправочных коэффициентов, позволяющих учесть, при последующей цифровой обработке, зоны с пограничным значением величины потерь.

Methods of experimental investigation of structures of radio transparent radomes. Search and localization of defects

Larin A.A.

MAI, Moscow, Russia

For protection of antenna devices of radio engineering stations (RTS) from external environment influences various radio transparent radomes (RTR) are used.

The main electrical requirement to RTRs is the minimum electromagnetic wave distortion (EMW) while maintaining strength and protective properties. For the smooth passage of the EMW, while maintaining high mechanical strength of RTRs, used composite materials.

Various types of defects (stratification, cracks, foreign inclusions, etc.) can be found in the designs of such switchboards.

Defects can impair both mechanical and electrical properties of the RTR, so the task of detection and localization of defects in the RTR design with simultaneous control of its electrical properties during production and operation is relevant.

To solve this task, the electrical properties of the RTR are controlled – loss measurement. Defective areas are detected by distributing the loss value. Known methods of energy loss measurement have significant limitations of applicability due to the influence of signal reflections (from RTRs and other objects (walls, floor, ceiling, etc.) on measurement results (accuracy).

In order to overcome these limitations, a method of measuring loss in the fairing using time selection has been proposed, which allows reducing the influence of signal re-reflections on the measurement result. The proposed method calculates the width of the time window based on the conditions of the measuring range, and the subsequent filtering of the signal in the time domain with the imposition of the previously calculated time window.

For the purpose of search and localization of detected defects the defectoscopy method based on the above mentioned method of loss measurement using digital processing methods is offered. The method is based on the formula of defect detection and calculation of the total area by the specified threshold value of loss value. In order to localize defects and evaluate their shape, digital images are constructed.

For the purpose of studying the structure and character of the defect, the method of defect detection is proposed, which differs in the application of a number of correction factors in the detection formula, allowing to take into account, at the subsequent digital processing, the zones with the boundary value of loss value.

Непрерывная технология изготовления термопластичных сотоблоков и трёхслойных панелей на их основе

Лебедев А.К., Бухаров С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Доля применения ПКМ в технике постоянно растёт. На сегодняшний день можно с высокой долей вероятности прогнозировать пути развития технологии ПКМ. Например, очевидно, что если допустить некоторое обобщение, то можно утверждать, что существуют два пути развития технологии конструкционных изделий из ПКМ авиационного и ракетно-космического назначения, актуальных на ближайшие 10 лет:

- Пропитка связующим волокнистой предварительно уплотнённой пространственно-армированной преформы.
- Автоматизированная выкладка препрега в виде жгутов или лент, в том числе на термопластичной матрице.

В настоящее время в мировой авиаиндустрии находят все большее применение многослойные стеклопластиковые конструкции радиотехнического назначения на основе термопластичных связующих. По сравнению с традиционными стеклопластиковыми на основе терморезиновых связующих они имеют ряд таких неоспоримых преимуществ, как повышенную трещиностойкость, пониженные влаго- и водопоглощение, а также улучшенные радиотехнические характеристики.

Независимо от метода переработки, основной проблемой формования изделий из ПКМ с термопластичной матрицей является монолитизация исходного пакета полуфабриката из-за высокой вязкости расплавов термопластов ($200 \div 10000$ Па·с), что требует больших времен пропитки волокнистого наполнителя, а также сравнительно невысокая термостабильность термопластов при температурах формования. Остаточная пористость матриц в изделиях из ПКМ является основной причиной неполной реализации механических свойств армирующих волокон.

Для получения заготовок был выбран процесс шагового формования, основанный на получении листовой пропитанной заготовки методом зонального воздействия на рабочую область. Такой метод позволяет получить высокое качество заготовки, за счёт равномерного распределения пористости. Такой процесс легко оптимизируется по параметрам межволоконной и межнитной пропитки и позволяет устранять дефекты, которые обнаруживаются, непосредственно, в процессе формования.

Полученная листовая заготовка приобретает рифлёную форму, также, путём пошагового формования граней ячейки.

Сборка сотоблока осуществляется методами ультразвуковой или лазерной сварки.

В проекте процесса изготовления сотоблоков из ПКМ из тканых волокнистых препрегов, на настоящем этапе технологического обеспечения средствами промышленной

автоматизации, может быть реализовано производства без привлечения квалифицированных работников, работающих в условиях вредного производства.

Continuous laminate technology for thermoplastic honeycomb sandwich panel processing

Lebedev A.K., Bukharov S.V.

MAI, Moscow, Russia

Composites usage fraction is growing permanently.

Today we can predict, with high probability rate, ways of polymer composites technologies development.

For instance, it would be obvious, if we can make a kind of generalization, that there are two ways of main structure composite processing technology development, got to be realized in next 10 years:

- Resin transfer for pre-compacted transversal reinforced preform.
- Automated layup of prepreg tows and tapes, including thermoplastic matrix materials.

Today multifunctional multilayer thermoplastic resin based composite radio transparent sandwich panels and fairings are widely used in aviation industry. Compared to traditional thermoset resin based glass fiber reinforced plastics thermoplastic composites have undeniable advantages like increased crack resistance, lower water absorption rate and better radio technical characteristics. Regardless of method main thermoplastic composite processing problem is compacted layer monolithization because of high melt viscosity ($200 \div 10000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$), that requires more time for impregnation of interfiber space and have low thermal stability at processing conditions.

Residual polymer matrix porosity in thermoplastic composites is the main reason of incomplete implementation of reinforcement mechanical properties realization.

Semi-continuous forming process been chosen for experimental thermoplastic honeycomb blank production. Blank sheet is manufactured by zonal impact on the working area. This method provides low porosity high quality laminate manufacturing. This process can be easily optimized by inter-thread and interfiber impregnation parameters and allows to control defects. One-ply laminate can be formed into honeycomb cell with the same processing line but with a different tool and process parameters.

Ultrasonic or laser fusion is preferred as thermoplastic composite honeycomb assembly technology. In current project honeycomb is manufactured from woven fabric thermoplastic prepreg. Referring to the level of automation this process can be realized without full-time special operator engineer monitoring in hazardous conditions.

Экспериментальные исследования особенностей статической остаточной прочности при сжатии тонких композитных панелей с ударными повреждениями

Лебедев И., Урбаха М., Владислав П.Т.

РТУ, г. Рига, Латвия

В представленной работе приведены экспериментальные исследования статической прочности на сжатие конструктивно-подобных образцов, изготовленные из гладких и трехслойных несущих композитных панелей натуральных агрегатов механизации крыла. Испытания углепластиковых конструктивно-подобных образцов на остаточную статическую прочность при сжатии проводились после нанесения регламентированных низкоскоростных ударных воздействий.

Испытания показали следующие особенности прочности композитных панелей. В зависимости от структуры материала и жесткостных изгибных характеристик панелей реализовывались два варианта разрушения. Во-первых, это ожидаемый механизм разрушения при сжатии с образованием поперечной трещины от зоны ударного воздействия. При этом панель при нагружении оставалась плоской. Во-вторых, для некоторых панелей наблюдались начальная потеря устойчивости и последующее разрушение при закритическом поведении панелей. Таким образом, экспериментально показано, что критерий статической остаточной прочности при сохранении плоской формы панели не является универсальным и требует учета прогибов при потере устойчивости, а также соответствующих мембранных и изгибных напряжений. Предложено учитывать выявленные механизмы разрушения при

проектировании композитных агрегатов и при проведении последующих поверочных расчетов. В работе приведены результаты экспериментальных исследований углепластиковых образцов при сжатии на статическую прочность. Выявленные механизмы разрушения образцов при определенных соотношениях жесткостных характеристик показали необходимость учета возможной потери устойчивости и соответствующих мембранных и изгибных напряжений при проектировании тонкостенных композитных конструкций.

Experimental studies of static compression residual strength feature of thin composite panels with impact damage

Lebedevs I., Urbaha M., Turko V.P.
RTU, Riga, Latvia

This investigation presents experimental studies of the compressive strength characteristics of structurally-like specimens, made of smooth and three-layer CSSI of full-scale high-lift units.

Tests of structurally-like carbon fiber specimens for residual static compressive strength were carried out after applying regulated low-speed impact loads.

Tests have shown the following features of the strength of composite panels. Depending on the structure of the material and the flexural rigidity characteristics of the panels, two variants of fracture were realized. First, it is the expected mechanism of compression destruction with the transverse crack formation out of the impact zone. In this case, the panel remained flat under loading.

Secondly, for some panels, initial buckling and subsequent fracture were observed at supercritical behavior of the panels. Thus, it has been experimentally shown that while the panel maintains the flat shape, the static residual strength as the criterion is not universal and requires taking into account deflections during loss of stability, as well as the corresponding membrane and bending stresses.

So, it is proposed to take into account the revealed mechanisms of fracture when designing CSSI and during subsequent verification calculations.

The results of experimental studies of carbon-fiber-reinforced plastic specimens under static compression load are presented. The revealed mechanisms of specimens fracture at certain ratios of stiffness characteristics showed the need to take into account the possible loss of stability and the corresponding membrane and bending stresses when designing thin-walled composite structural significant components.

Параметрические исследования прочности композитной панели, подверженной ударному воздействию

Левченков М.Д.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Доклад посвящен исследованию остаточной прочности и устойчивости панелей из полимерных композиционных материалов (КМ) после нанесения ударных повреждений. Исследования проводились с использованием разработанного и реализованного автором программного метода, позволяющего в автоматическом режиме проводить параметрические расчеты нагруженно-деформированного состояния, устойчивости и остаточной прочности, моделировать типовые повреждения подкрепленных обшивочных панелей из КМ, вызванные ударным воздействием. В рамках программного модуля имеется возможность варьировать параметры композитного пакета и ударного воздействия.

В рамках валидации программного модуля исследована модельная задача зависимости остаточной прочности композитной панели после нанесения низкоскоростного ударного воздействия. По результатам исследования получены оценки запасов прочности и устойчивости композитной панели в зависимости от строения пакета, механических свойств волокна и связующего. Проведены валидационные оценки предложенной методики моделирования на основе сравнительного анализа результатов расчета и экспериментальных данных.

Проведенное исследование показывает потенциал программных методов для проведения параметрических исследований в широком поле варьируемых параметров конструкции. Разработанный программный модуль применим для исследований конструкции на этапе предварительного проектирования и параметрической оптимизации благодаря скорости расчета и возможности вариации основных конструктивных параметров. Сделаны выводы о развитии и улучшении предложенной методики

Parametric investigations of strength of a composite panel after impact damage

Levchenkov M.D.

TsAGI, Zhukovskiy, Russia

The work is devoted to the study of the residual strength and buckling of panels made of polymer composite materials (CM) after impact damage. The studies were carried out using the software method developed and implemented by the author, which allows to carry out parametric calculations of the stress-strain state, buckling and residual strength in automatic mode, to simulate typical damage to reinforced CM panels caused by impact. The software module allows to vary the parameters of the composite package and the impact damage.

As part of the validation of the software module a test case of the dependence between the residual strength of a composite panel after applying a low-velocity impact and the parameters of damage was investigated. Based on the results of the study strength and stability factors of the composite panel were obtained depending on structure of the package, mechanical properties of fiber and resin. Validation assessments of the proposed modeling technique were carried out on the basis of a comparative analysis of the calculation results and experimental data.

The research has shown the potential of software methods for carrying out parametric studies in a wide field of variable design parameters. The developed software module is applicable for structural studies at the stage of preliminary design and parametric optimization due to the low computation time and the possibility of varying the main design parameters. Conclusions concerning development and improvement of the proposed methodology were made.

Методика испытаний теплообменников и лопаток турбин ГТД

¹Лепёшкин А.Р., ²Ремчуков С.С., ¹Ярославцев Н.Л., ³Гуанхуа Чжен

¹МАИ, ²ЦИАМ, г. Москва, Россия

³СЗПУ, г. Сиань, Китай

Проведение испытаний теплообменников и их элементов и лопаток турбин ГТД возможно на различных видах испытательного оборудования, имитирующего условия их работы в газовом потоке газотурбинного двигателя (ГТД). Это могут быть газодинамические установки, установки с высокочастотным (ВЧ) индукционным нагревом [1, 2], установки с электронагревом и установки с радиационным нагревом. Газодинамический стенд позволяет производить испытание с максимальным приближением к реальным условиям, однако, стоимость таких испытаний очень высока и на этапе прочностной доводки применение их нецелесообразно. Реально использовать газовый стенд для контрольной проверки также не представляется возможным. ВЧ нагрев при достаточно высокой частоте удовлетворительно имитирует поверхностный нагрев в газовом потоке. Стоимость испытаний с ВЧ нагревом на несколько порядков ниже стоимости испытаний на газовом стенде. Малая стоимость испытаний с ВЧ нагревом позволяет производить всесторонние исследования конструкций с целью установления влияния на их термоциклическую долговечность различных конструктивно-технологических факторов. Имеющееся оборудование после изготовления необходимой оснастки применялось для моделирования теплового состояния и исследования термоциклической долговечности элементов теплообменников и лопаток турбин ГТД. Разработаны специальные конструкции индукторов для моделирования теплового состояния секции теплообменника. Для измерения температуры детали были препарированы хромель-алюмелевыми термопарами. Для крепления деталей относительно индуктора использовались доработанные захваты. Проведенные исследования по разработанной методике показали возможность использования ВЧ нагрева при испытаниях элементов теплообменников и лопаток турбин ГТД на термоциклическую долговечность.

Литература:

1. Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р. Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях. М.: Инфра-М, 2019. 282 с.
2. Лепешкин А.Р., Ильинская О.И., Кувалдин А.Б., Лепешкин С.А. Исследование нагрева вращающихся дисков турбин в электромагнитном поле, созданном с использованием специальных индукторов и сильных постоянных магнитов // Известия РАН. Энергетика. 2020. № 2. – С. 112-122.

Test technique for heat exchangers and turbine blades of GTE

¹Lepeshkin A.R., ²Remchukov S.S., ¹Yaroslavtsev N.L., ³Guanghua Z.

¹MAI, ²CIAM, Moscow, Russia

³NWPU, Xi'an, China

Testing of heat exchangers and their elements and turbine blades of a gas turbine engine is possible on various types of test equipment simulating the conditions of their operation in the gas flow of a gas turbine engine (GTE). These can be gas-dynamic installations, installations with high-frequency (HF) induction heating [1, 2], installations with electric heating and installations with radiation heating. The gas-dynamic stand allows testing as close as possible to real conditions, however, the cost of such tests is very high and at the stage of strength refinement their use is impractical. It is also not possible to actually use a gas stand for a control check. HF heating at a sufficiently high frequency satisfactorily simulates surface heating in a gas flow. The cost of tests with RF heating is several orders of magnitude lower than the cost of tests on a gas stand. The low cost of tests with HF heating makes it possible to carry out comprehensive studies of structures in order to establish the influence of various design and technological factors on their thermocyclic durability. The available equipment, after making the necessary equipment, was used to simulate the thermal state and study the thermal cyclic durability of heat exchanger elements and GTE turbine blades. Special designs of inductors have been developed to simulate the thermal state of the heat exchanger section. To measure the temperature, the parts were prepared with chromel-alumel thermocouples. Modified grips were used to fix the parts relative to the inductor. The studies carried out according to the developed method have shown the possibility of using high-frequency heating when testing the elements of heat exchangers and turbine blades of gas turbine engines for thermal cyclic durability.

References:

1. Kuvaldin A.B., Lepeshkin A.R. High-speed modes of induction heating and thermal stress in products. M.: Infra-M, 2019.282 p.
2. Lepeshkin A.R., Ilinskaya O.I., Kuvaldin A.B., Lepeshkin S.A. Investigation of heating of rotating disks of turbines in an electromagnetic field created with the use of special inductors and strong permanent magnets // Izvestia RAN. Energy. 2020.No. 2. - P. 112-122.

Разработка конструктивно-силовой схемы узла навески двери пассажирского самолета из ПКМ

Маркин О.В., Кравченко Е.А., Буш А.В., Свиридов А.Г.

ОНПП «Технология», г. Обнинск, Россия

Усовершенствование конструкций узлов и агрегатов аэрокосмического назначения обусловлено постоянно растущими требованиями к их качеству, надежности и весовой эффективности. В условиях жесткой конкуренции между компаниями-производителями создание таких конструкций невозможно без использования современных композиционных материалов, технологий изготовления, математического моделирования и расчета конструкции. Использование современного программного обеспечения, такого как MSC.Software позволяет создавать конструкции, удовлетворяющие растущим требованиям. Одним из основных преимуществ замещения металлических сплавов композиционными материалами в деталях и узлах летательных аппаратов (ЛА) является повышение их весовой эффективности. Технология анализа конструкций методом конечных элементов при помощи ПО MSC позволяет в короткие сроки разрабатывать оптимальную конструктивно-силовую

схему элементов ЛА обеспечивающую необходимую несущую способность при минимальной массе.

В работе представлена разработка конструкции узла навески (УН) двери пассажирского самолета из углепластика, обладающей достаточной жесткостью и прочностью при минимально возможной массе и высокой технологичности изготовления.

Целью работы является разработка конструкции УН двери пассажирского самолета из ПКМ с фиксированными габаритными размерами, обеспечивающей допустимый прогиб и достаточную прочность при заданной массе двери самолета.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Анализ деформированного состояния пустотелой конструкции УН с целью выявления зон конструкции УН, деформация которых является наиболее выраженным источником волны общей деформации УН.

- Разработка конструктивных решений, способных уменьшить деформации вышеуказанных зон и при этом обладающих высокой технологичностью изготовления с целью обеспечить изделие необходимыми характеристиками при минимальной массе.

- Сравнительный анализ результатов, полученных в ходе проведения расчетов конструкций методом конечных элементов.

В ходе работы так же рассматривались конструкции УН разработанные сторонними организациями.

В итоге проведенных работ разработана конструкция УН двери самолета из ПКМ, отвечающая необходимым требованиям по массе, габаритным размерам, обладающая достаточной жесткостью и высокой технологичностью изготовления и при этом не имеющая аналогов в мире по весовой эффективности.

Development of the structural design for the polymer composite passenger aircraft door hinge fixing

Markin O.V., Kravchenko E.A., Bush A.V., Sviridov A.G.

ORPE "Technologiya", Obninsk, Russia

The improvement of aerospace unit and assembly structures is caused by constantly growing requirements for their quality, reliability and weight efficiency. On the highly competitive market of manufacturing companies, the development of such structures is impossible without using advanced composite materials, fabrication methods, mathematic modelling, and design calculation. The use of advanced software such as MSC Software makes it possible to develop structures which meet the growing requirements. One of the main advantages of replacing metal alloys with composite materials in aircraft parts and units is the increase of their weight efficiency. The finite element analysis of the structures using MSC Software makes it possible to develop an optimal structural design of aircraft elements which provides the required load-carrying capacity at the lowest weight within a short period of time.

This work presents the development of the structure of the CFRP passenger aircraft door hinge fixing having sufficient rigidity and strength at the lowest possible weight and high manufacturability.

The objective of this work is the development of the polymer composite passenger aircraft door hinge fixing structure with fixed overall dimensions which provides allowable deflection and sufficient strength at a specified weight of the aircraft door.

To achieve the objective the following tasks were completed:

- Deformed condition analysis of the hollow hinge fixing structure in order to determine the hinge fixing structure areas the deformation of which is the most apparent source of the overall hinge fixing deformation wave.

- Development of the designs capable of reducing deformations of the above-mentioned areas while having high manufacturability in order to provide the product with the required characteristics at the lowest weight.

- Comparative analysis of the results obtained during the design calculations by finite-element method.

During the work the hinge fixing structures developed by external companies were considered. The work resulted in the development of the polymer composite passenger aircraft door hinge fixing structure meeting the requirements for weight and overall dimensions, and having sufficient rigidity and high manufacturability, while having no world analogues in weight efficiency.

Технология изготовления компрессора малоразмерного газотурбинного двигателя из композиционного материала

¹Мартынюк Л.А., ¹Быков Л.В., ²Афанасьев Д.В., ¹Ежов А.Д.

¹МАИ, ²ЦИАМ, г. Москва, Россия

Использование композиционных материалов в современных авиационных и ракетных двигателях является одним из перспективных направлений. Малый удельный вес, высокие прочностные характеристики композитного материала, являются определяющими.

При изготовлении ПКМ широко применяются стеклянные, углеродные, арамидные и базальтовые волокна. Количество тех или иных волокон, а главное, их пространственное расположение в объёме композита определяет анизотропию его свойств. Если деталь нагружена силами, приложенными преимущественно в одном или двух направлениях, то имеет смысл создать материал с анизотропией свойств, которые будут в точности соответствовать приложенным нагрузкам. Повышение несущей способности ПКМ в трансверсальном направлении (перпендикулярно волокнам) возможно только за счет введения дополнительных волокон наполнителя с соответствующей ортогональной ориентацией. Увеличение прочности связующего, в этом случае, не играет принципиального значения, поскольку прочность волокна на два порядка выше прочности чистого полимера. Попытки увеличить прочность в направлении перпендикулярно слоям (в «третьем» направлении) приводят к созданию пространственно-армированных композиционных материалов.

Армирование в третьем направлении возможно осуществить несколькими путями. А именно: прошивкой слоистых «преформ»; плетением или ткачеством объёмно армированных тканых заготовок; использованием жёстких элементов армирования: штифтов, иглолок, заготовок с предварительно отвержденными вертикальными силовыми нитями и т.д.

Основным преимуществом прошивки перед другими методами создания 3D структур можно считать сохранившуюся возможность управлять углами армирования волокон внутри слоя, так же как это происходит при изготовлении слоистых ламинатов.

Основным недостатком технологии прошивки считается тот факт, что, протыкая слой, швейная игла травмирует или перерубает множество несущих волокон. Чем толще исходная заготовка, тем большего диаметра иглу требуется использовать для того, чтобы развить требуемое усилие при проколе, и тем больший ущерб она наносит волокнам. В технологии нашивки ровинговых волокон игла обходит пришиваемый жгут с двух сторон не задевая, поэтому не повреждает волокна верхнего, нашиваемого слоя. Однако, ранее нашитые нижние слои, могут при этом повреждаться. В рамках данного исследования для отработки описанной технологии было изготовлено рабочее колесо центробежного компрессора для малоразмерного ГТД.

Technology for producing a compressor small-sized gas turbine engine of a composite material

¹Martynuk L.A., ¹Bykov L.V., ²Afanasiev D.V., ¹Ezhov A.D.

¹MAI, ²CIAM, Moscow, Russia

The use of composite materials in modern aircraft and rocket engines is one of the promising directions. Low specific gravity, high strength characteristics of the composite material are decisive.

Glass, carbon, aramid and basalt fibers are widely used in the manufacture of PCMs. The number of certain fibers, and most importantly, their spatial arrangement in the bulk of the composite determines the anisotropy of its properties. If the part is loaded with forces applied primarily in one or two directions, then it makes sense to create a material with anisotropy of properties that will

exactly correspond to the applied loads. An increase in the bearing capacity of the PCM in the transverse direction (perpendicular to the fibers) is possible only by introducing additional filler fibers with a corresponding orthogonal orientation. An increase in the strength of the binder, in this case, is not of fundamental importance, since the strength of the fiber is two orders of magnitude higher than the strength of a pure polymer. Attempts to increase strength in the direction perpendicular to the layers (in the "third" direction) lead to the creation of spatially reinforced composite materials.

Reinforcement in the third direction is possible in several ways. Namely: sewing layered "preforms"; by weaving or weaving volumetric reinforced woven blanks; the use of rigid reinforcement elements: pins, needles, blanks with pre-cured vertical power threads, etc.

The main advantage of piercing over other methods of creating 3D structures can be considered the preserved ability to control the angles of fiber reinforcement within the layer, just as it happens in the manufacture of layered laminates.

The main disadvantage of the sewing technology is the fact that, piercing the layers, the sewing needle injures or cuts a lot of supporting fibers. The thicker the initial blank, the larger the diameter of the needle must be used in order to develop the required force at the puncture, and the more damage it causes to the fibers. In the technology of stripping roving fibers, the needle bypasses the sewn-on cord from both sides without touching, therefore it does not damage the fibers of the upper sewn-on layer. However, the previously sewn lower layers may be damaged. Within the framework of this study, in order to develop the described technology, a centrifugal compressor impeller for a small-sized gas turbine engine was manufactured.

Исследование металл-композитного соединения на примере узла крепления вертолетной лопасти с учетом усталостной долговечности и ресурса

Маскайкина А.А., Дудченко А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Лопасть несущего винта определяет летные характеристики вертолета. Конструкция лопасти зависит от характера действия нагрузок, а также от сложности условий работы. Большие переменные нагрузки с достаточным числом циклов изменений воздействуют на лопасть при полете вертолета и вызывают ее усталостное разрушение.

Для увеличения срока службы лопасти применяются полимерные композиционные материалы с учетом определенного подхода к проектированию стыкового узла. Лопасти из полимерных композиционных материалов должны сохранять стабильные во времени свойства и в ходе эксплуатации должны быть защищенными от повреждений.

Актуальностью данной работы является повышение усталостной долговечности и ресурса узла крепления вертолетной лопасти за счет создания оптимального стыкового узла.

Целью данной работы является увеличение усталостной долговечности лопасти благодаря оптимизации стыкового узла крепления.

В ходе работы была решена задача о включении в работу многослойного композитного материала при его растяжении. За счет геометрического моделирования была произведена оптимизация болтового соединения в креплении вертолетной лопасти. Также был произведен расчет усталостной долговечности для материалов лопасти и крепежных болтов. С помощью метода конечного элемента был выполнен анализ болтового соединения и определено: влияние величины нагрузки, действующей на болт, момента затяжки и трения.

В результате работы были получено, что меньший диаметр болтового соединения позволяет снизить величину перерезаемых волокон и концентрацию напряжений вокруг отверстия и благодаря этому увеличить прочность материала и ресурс работы самой лопасти.

В данной работе было проведено исследование стыкового узла крепления лопасти вертолета с учетом усталостной долговечности и ресурса. Также была определена рациональная зона включения материала в работу.

Research of a metal-composite joint on the example of a helicopter blade attachment unit, taking into account fatigue life and service life

Maskaykina A.A., Dudchenko A.A.

MAI, Moscow, Russia

The main rotor blade determines the flight characteristics of the helicopter. The design of the blade depends on the nature of the loads, as well as on the complexity of the working conditions. Large variable loads with a sufficient number of cycles of changes affect the blade during helicopter flight and cause its fatigue failure.

To increase the service life of the blade, polymer composite materials are used, taking into account a certain approach to the design of the butt joint. Blades made of polymer composite materials must maintain stable properties over time and must be protected from damage during operation.

The relevance of this work is to increase the fatigue life and resource of the helicopter blade attachment unit by creating an optimal butt joint.

The purpose of this work is to increase the fatigue life of the blade by optimizing the butt attachment unit.

In the course of the work, the problem of including a multi-layer composite material in the work when it is stretched was solved. Due to geometric modeling, the bolted connection in the helicopter blade attachment was optimized. Fatigue life was also calculated for the blade materials and mounting bolts. The finite element method was used to analyze the bolt connection and determine: the effect of the load acting on the bolt, the tightening torque and friction.

As a result, it was found that the smaller diameter of the bolted connection allows you to reduce the size of the cut fibers and the stress concentration around the hole and thereby increase the strength of the material and the service life of the blade itself.

In this work, a study of the butt Assembly of the helicopter blade attachment was carried out, taking into account the fatigue life and resource. The rational zone for including the material in the work was also determined.

Проектирование несущих композитных панелей по закритическому состоянию при комбинированном нагружении и с учетом ограничений по остаточной прочности при наличии дефектов типа вмятин

Митрофанов О.В., Гавриляк В.Э.

МАИ, г. Москва, Россия

Для тонких несущих панелей агрегатов механизации крыла самолетов малой грузоподъемности при нагрузках близких к расчетному уровню нагружения допускается потеря устойчивости. На основе методологии проектирования по закритическому состоянию конструкций из композитных материалов в работе предложена прикладная методика определения толщины ортотропной панели при двухстороннем сжатии и сдвиге. Исходные соотношения учитывают геометрически нелинейные соотношения и условия шарнирного опирания для прямоугольной панели. Аналитическое решение нелинейной задачи проведено методом Бубнова-Галеркина.

Современные нормативные документы по проектированию композитных конструкций включают требования по обеспечению остаточной прочности при наличии дефектов. В данной работе рассмотрены не сквозные дефекты типа вмятин, которые являются следствием, например, ударных воздействий. В действующих рекомендательных циркулярах указанные дефекты, как правило, относятся к 1-й (типа BVID) и 2-й категории (типа VID). Прочностные характеристики остаточной прочности композитных панелей с дефектами определяются в соответствии в ASTM D 7137 при одноосном сжатии. На практике нагружение тонких обшивок, как правило, носит комбинированный характер (двухосное сжатие и сдвиг).

Основное ограничение в представленной методике связано с обеспечением остаточной прочности при закритическом поведении с учетом комбинированного нагружения. Задача определения оптимальной толщины тонкой панели из композитных материалов сведена к

итерационной численной процедуре относительно параметра нагружения. Результирующие соотношения методики включают коэффициенты влияния влаги и температуры на прочностные характеристики композитной панели. В работе проведены параметрические исследования влияния структуры композитного пакета на толщину панели минимального веса при использовании различных критериев прочности при комбинированном нагружении.

Load-bearing composite panels design based on post-buckling state with combined loading taking into account residual strength constraints with defects of dent type

Mitrofanov O.V., Gavriljak V.E.

MAI, Moscow, Russia

Buckling is possible for thin load-bearing panels of the light aircraft wing high-lift devices. Applied method for orthotropic panel thickness definition with bilateral compression and shear based on design methodology by composite structure post-buckling state is suggested in the investigation. Initial correlations take geometrically non-linear correlations and hinge support conditions into account for rectangular panel. Non-linear problem analytic solution is obtained using Bubnov-Galerkin method.

Modern composite structures design requirements documents include requirements for residual strength support with defects. Non-through defects of dent type which are consequence of, for example, impacts are considered in this investigation. In current advisory circulars, these defects generally refer to the 1st (BVID type) and the 2nd (VID type) categories. Defected composite panels residual strength characteristics are defined according to ASTM D 7137 with uniaxial compression. Practically thin skin loading generally is of combined nature (biaxial compression and shear).

Main constraint of the shown method is connected with residual strength support with post-buckling behavior taking combined loading into account.

The problem of determining the optimal thickness of a thin panel made of composite materials is reduced to an iterative numerical procedure with respect to the loading parameter. Method resulting correlations include coefficients of moisture and temperature influence on composite panel strength characteristics. In this paper, parametric studies of the effect of the composite package structure on the thickness of the minimum weight panel using various strength criteria under combined loading are carried out.

Анализ устойчивости и несущей способности подкрепленных панелей из КМ при сжатии и ударных воздействиях с учетом послылой моделирования

¹Митрофанов О.В., ²Клесарева М.В., ¹Мухина А.М.

¹МАИ, ²ПАО «Корпорация «Иркут» Филиал «Региональные самолеты», г. Москва, Россия
Панели, усиленные набором стрингеров, широко распространены в конструкции самолетов гражданского назначения. Применение таких панелей позволяет увеличивать действующие нагрузки на конструкцию, при этом сохраняя достаточную прочность и жесткость с приемлемой весовой эффективностью.

Подкрепленные панели применяются для восприятия различных нагрузок, одним из которых является сжатие, позволяя при этом предотвращать потерю устойчивости. Кроме того, устойчивость и несущая способность могут быть снижены из-за эксплуатационных повреждений, к которым относятся случайные ударные воздействия (удар птицы, попадание града, удар инструментом при наземном обслуживании т.д.).

В последние годы при создании таких панелей применяются композиционные материалы, обладающие высокими прочностными характеристиками, при этом оказались подвержены влиянию случайных ударных воздействий. В связи с этим, при проектировании подобных конструкций стоит вопрос обоснования статической прочности при ударных повреждениях.

В настоящее время для обоснования прочности с ударными повреждениями используется стандарт ASTM D 7137 «Standard Test Method for Compressive Residual Strength Properties of Damaged Polymer Matrix Composite Plates». Для того, чтобы обосновать и доказать, что испытание было проведено корректно, необходимо дополнительно провести расчёты. В данном случае проведение таких расчётов аналитическим путем не представляется

возможным, поэтому необходимо применение программ, поддерживающих подход конечно-элементного моделирования. Для того, чтобы наиболее близко приблизиться к натурным испытаниям, была реализована методика последного моделирования стрингерных панелей, которая в дальнейшем будет распространена на агрегаты конструкции планера.

Analysis of buckling state and bearing capacity of stiffened panels made from composite materials under compression after impact with considering ply-by-ply modeling

¹Mitrofanov O.V., ²Klesareva M.V., ¹Mukhina A.M.

¹MAI, ²IRKUT Corporation Regional Aircraft, Moscow, Russia

Panels which are reinforced by set of stringers are spread widely in civil aircraft structures. Application of such panels allows to increase acting loads on structure at the same time keeping sufficient strength and stiffness with acceptable weight efficiency.

Stiffened panels are used for taking different loads including compression and preventing buckling state. Also buckling state and bearing capacity can be reduced by damage in service, namely random impact effects (bird strike, hail strike, tool drop during ground maintenance etc.)

In recent years, composite materials have been used for producing such panels, which possess high strength characteristics, but are sensitive to discrete source damage. In this regard, when such structures are designed, there is a question of justification of the static strength in case of impact damage.

Currently, ASTM D 7137 "Standard Test Method for Compressive Residual Strength Properties of Damaged Polymer Matrix Composite Plates" is used to substantiate impact damage strength. In order to substantiate and prove that the test was carried out correctly, it is necessary to perform additional calculations. In this case, it is not possible to carry out such calculations analytically; therefore, it is necessary to use the finite element modeling software. In order to get as close as possible to full-scale tests, a method of layer-by-layer modeling of stringer panels was implemented, which will later be extended to units of the airframe structure

Оценка геометрически нелинейного поведения тонких поверхностных дефектов типа расслоения анизотропной структуры при сдвиге

Митрофанов О.В., Мазен О.

МАИ, г. Москва, Россия

Достаточно актуальной является задача оценки возможности распространения тонких поверхностных дефектов типа расслоений при создании тонкостенных несущих конструкций из композитных материалов. В общем случае структура расслоения может иметь анизотропный характер.

В работе рассмотрена панель, нагруженная касательными усилиями, имеющая прямоуглольный дефект с анизотропной структурой. Для оценки напряженно-деформированного состояния тонкого дефекта, расположенного близко к поверхности панели, использованы геометрически нелинейные исходные соотношения. Выбранный прогиб расслоения удовлетворяет жестким граничным условиям.

Аналитическое решение задачи проведено методом Бубнова-Галеркина. В результате получена нелинейная зависимость действующего сдвигового потока и амплитуды прогиба. Критические параметры волнообразования могут быть получены при рассмотрении линейной задачи при отбрасывании нелинейных относительно амплитуды прогиба соотношений. При заданной нагрузке после постановки указанных критических параметров в нелинейное решение задачи определяется соответствующая величина амплитуды прогиба. В работе получены аналитические соотношения для вычисления мембранных напряжений, возникающих при потере устойчивости тонкого расслоения. Записаны также аналитические выражения для определения изгибных напряжений. Отмечено, что полученные соотношения позволяют определить исходные значения напряжений для последующего решения задачи механики разрушения и оценки распространения расслоения.

На основе полученных соотношений в работе проведены параметрические исследования влияния возможной анизотропной структуры на возникающее напряженно-

деформированное состояние расслоения при сдвиге. Также проведены численные исследования использования различных критериев прочности.

Estimation of geometrically nonlinear behavior of thin surface defects such as anisotropic structure stratification under shear

Mitrofanov O.V., Mazen O.

MAI, Moscow, Russia

Problem of delamination-type thin surface defects distribution possibility estimation in thin-walled load-bearing composite structures is quite urgent. Generally, delamination structure can be of anisotropic character.

Panel with rectangular defect of anisotropic structure loaded with tangential force is considered in the investigation. In order to estimate panel thin surface defect state of deformation geometrically non-linear initial correlations are used. Chosen delamination deflection meets hard boundary conditions. Problem analytical solution was obtained using Bubnov-Galerkin method. As a result, non-linear dependence of acting shear flow and deflection amplitude is obtained. Critical parameters of wave generation can be obtained by consideration of linear problem with omission of non-linear in deflection amplitude correlations. With given load after substitution of above mentioned critical parameters into problem non-linear solution corresponding deflection amplitude value is defined.

Analytical correlations for calculation of membrane stress appearing with thin delamination buckling are obtained in the investigation. Also analytical expressions definitions for bending stress are shown. It is noted that obtained correlations allow defining stress initial values for failure mechanics problem further solution and delamination distribution estimation.

Parametric studies of possible anisotropic structure influence on delamination state of deformation coming about from shear based on obtained correlations are shown in the investigation. Also numerical research of different strength criteria usage was conducted.

Проектирование сжатых подкрепленных панелей из композитных материалов с учетом упругости стрингеров и закритического поведения обшивки

Митрофанов О.В., Рыжова Е.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Проектирование несущих панелей из композиционных материалов является сегодня одним из перспективных направлений оптимизации авиационных конструкций.

Для верхних несущих панелей кессона крыла самолетов малой грузоподъемности при нагрузках выше эксплуатационного уровня допускается потеря устойчивости тонких обшивок при сжатии.

В работе рассмотрена задача об определении несущей способности прямоугольных подкрепленных панелей из композитных материалов при продольном сжатии. Для решения задачи рассматривались граничные условия прямоугольной ортотропной обшивки, соответствующие её жёсткому опиранию, а исходные соотношения учитывали геометрически нелинейные соотношения при совместном деформировании обшивки и стрингеров. Также были приняты во внимание возможные упругие прогибы стрингеров. Геометрически нелинейная задача решена методом Ритца и аналитически сведена к системе нелинейных уравнений относительно амплитуды прогиба обшивки и стрингеров.

На основе полученного решения предложена прикладная методика проектирования композитных подкрепленных панелей минимального веса при различных вариантах разрушения. Рассмотрены варианты методики при достижении предельных по прочности напряжений в обшивке и стрингерах при закритическом поведении обшивки.

В работе получены выражения для определения редукционных коэффициентов при различных критериях разрушения композитной обшивки при закритическом поведении по условиям статической прочности. Представлены результаты исследований влияния различных конструктивных параметров на массу подкрепленных панелей и величины критических усилий потери устойчивости. В частности, рассмотрено влияние шага стрингеров, армирования обшивки и стрингеров.

Compressed stiffened composite panels design taking stringers elasticity and skin post-buckling behavior into account

Mitrofanov O.V., Ryzhova E.S.

MAI, Moscow, Russia

The design of load-bearing composite panels is one of the promising options for optimizing aircraft structures.

Thin skin buckling with compression is possible for upper load-bearing panels of the light aircraft wing box.

Problem of stiffened composite panels' load-bearing capacity with longitudinal compression is examined in the investigation. Initial correlations take into account geometrically non-linear correlations with combined deformation of skin and stringers. Boundary conditions of rectangular orthotropic skin correspond to rigid support. Possible stringers elastic deflection is also taken into account. Geometrically non-linear problem is solved by Ritz method and is analytically reduced to a set of non-linear equations in skin and stringers deflection amplitude.

Based on the obtained solution, an applied method for designing composite reinforced panels of minimal weight for various failure variants is proposed. Variants of the method are considered when reaching the maximum strength stresses in the skin and stringers with the supercritical behavior of the skin.

In this paper, expressions are obtained for determining the reduction coefficients for various criteria for the destruction of composite cladding under supercritical behavior under static strength conditions. The results of studies of the influence of various design parameters on the weight of reinforced panels and the magnitude of critical forces of loss of stability are presented. In particular, the influence of the step of stringers, reinforcement of the skin and stringers is considered.

Проектирование хвостового отсека фюзеляжа перспективного широкофюзеляжного самолёта из композиционных материалов

Москвичева Е.Д., Торопылина Е.Ю.

ПАО «Корпорация «Иркут» Филиал «Региональные самолеты», г. Москва, Россия

Авиация постоянно развивается и требует новых технических решений. При разработке авиационной техники требуются новые материалы, которые должны выдерживать нагрузки полетов (высокие температуры и давления, перегрузки, высокие нагружения от агрегатов ЛА) и иметь достаточно низкий удельный вес.

Высокий потенциал снижения веса конструкции планера самолетов содержится в использовании углепластиков, которые обладают особыми свойствами. В связи с этим требуется разработка специальных конструктивно-силовых схем, а также подбор укладки слоев углепластика, используемого в конструкции отсека.

Хвостовой отсек фюзеляжа балочно-стрингерной конструкции, на котором устанавливается вертикальное и горизонтальное оперение является негерметичным. Конструктивно отсек образуют 4 панели. Панели представляют собой композитную обшивку (углепластик) с приклеенными композитными стрингерами (углепластик). Обшивки боковых панелей, в зоне выреза под горизонтальное оперение, усилены за счет большей толщины. В состав поперечных силовых элементов входят усиленные шпангоуты, находящиеся в области стыка киля с фюзеляжем, которые выполнены из титана и типовые шпангоуты, материал для которых также выбран композит.

Для эффективного использования композиционных материалов и для выбора запаса прочности необходимо на начальном этапе разработки конструкции определить оптимальные укладки, а посчитать КПО панелей с различным шагом и жесткостью стрингеров.

Укладки должны выбираться по следующим критериям:

- Запас на потерю устойчивости из состава испытаний укладок σ сжатия/ σ сжатия критический – минимальный.
- Предел прочности укладки на сжатие и растяжение при повреждении дискретным источниками (надрез на плоском элементарном образце) – максимальный.

- Модуль упругости при сжатии G максимальный из состава оптимальных укладок.

По результатам испытаний (МКЭ, Abaqus) КПО выполнен анализ и выбраны оптимальные укладки для обшивки и стрингеров.

Последним этапом данной работы, который показывает преимущества использования КМ в авиастроении, является оценка веса и аналитический анализ спроектированной конструкции хвостового отсека фюзеляжа по прочности, а также проведение конечно-элементного анализа, с использованием программного обеспечения Abaqus

Fuselage tail section design with the use of composite materials

Moskvicheva E.D., Toropylina E.Yu.

IRKUT Corporation Regional Aircraft, Moscow, Russia

Aviation is constantly evolving and requires new technical solutions. When developing aviation equipment, new materials are required that must withstand flight loads (high temperatures and pressures, overloads, high loads from aircraft unit and have a sufficiently low specific gravity.

The high potential for reducing the weight of the airframe structure is contained in the use of carbon fiber plastics, which have special properties. This is the reason that simple copying of metal elements in a composite design does not allow to realize the corresponding gain due to the unique stiffness and strength specific characteristics of this material. In this regard, it is necessary to develop special structural and power schemes, as well as the selection of laying layers of carbon fiber used in the design of the compartment.

The tail section of the fuselage of the beam-stringer structure, on which the vertical and horizontal tail is installed, is leaky. Structurally, the compartment is formed by 4 panels. The panels are a composite covering (carbon fiber) with glued composite stringers (carbon fiber). The side panel covers, in the area of the cutout for the horizontal tail, are reinforced due to the greater thickness. The structure of the transverse power elements includes reinforced frames located in the area of the joint of the keel with the fuselage, which are made of titanium and standard frames, the material for which is also selected composite.

For effective use of composite materials and for the choice of safety margin, it is necessary at the initial stage of design development to determine the optimal layout.

Optimal layout must be selected based on the following criteria:

- The margin for loss of stability from the composition of the test stacks σ compression/ σ compression critical-minimum.
- The ultimate strength of the installation for compression and tension in case of damage by a discrete method (incision on a flat elementary sample) – the maximum.
- The elastic modulus of compression G is the maximum from the composition of optimal laying

The last stage of this work, which shows the benefits of using КМ in aircraft design, is weight estimation and analytical analysis designed design the tail section of the fuselage for strength, as well as carrying out finite element analysis using the software Abaqus.

Сравнение двух методов расчета прочности элементов конструкции из композитных материалов

Мусин А.Р.

НПО ГИПО, г. Казань, Россия

Армирование полимеров углеродными волокнами позволило создать принципиально новый класс полимерных конструкционных материалов – углепластиков.

При появлении новых материалов, таких как углеткань и углекомпозиты, появилась необходимость в правильных прочностных расчетах, которые дадут достаточно достоверные результаты с низкими показателями погрешности. Данная задача может быть решена несколькими методами: моделированием слоев композитного материала или же применением программных пакетов, имитирующих раскладку слоев углеткани. Необходимо выяснить, какой метод является предпочтительным при расчете прочности деталей и конструкций из композитных материалов.

Целью данной работы является определение более точного результата при расчетах на прочность деталей и конструкций из углепластиков и других ортотропных композитных материалов.

В работе представлены результаты исследований по изучению и подбору наиболее подходящих программ и методов для расчета на прочность деталей из композита, а именно: сравнение подходов к прочностным расчетам в программе ANSYS Workbench с применением пакета Composite Preppost и без его применения с результатами, полученными при испытаниях.

При создании модели без применения пакета Composite Preppost слои композита моделировались отдельно, а при применении Composite Preppost был введен учет направленности слоев и раскладка тканей углеволокна.

В ходе расчетов выяснено, что метод расчета в программе ANSYS Workbench с применением пакета Composite Preppost дает более точные результаты, чем метод, в котором «укладка» слоев совершается «ручным» способом – путем создания моделей толщиной в один слой угле ткани и задания механических свойств этим слоям.

Comparison of two methods for calculating the strength of structural elements made of composite materials

Muisin A.R.

NPO GIPO, Kazan, Russia

Carbon-fiber reinforcement of polymers made it possible to create a fundamentally new class of polymeric building materials, which is a carbon fiber reinforced plastics.

With the advent of new materials, such as carbon fabrics and carbon composites, there is a need for correct strength calculations, which would give fairly reliable results with low error rates. The given task can be solved by several methods: by using a simulation model of the composite material layers, or by using software packages that simulate the carbon fabric layers layout. It is necessary to find out which of the methods is preferable for calculating the reliability and strength of component parts and structures made of composite materials.

The purpose of this work is to define more accurate results while calculating the strength of component parts and structures made of carbon fiber reinforced plastics and other orthotropic composite materials.

The paper presents the results of research on the study and selection of the most suitable programs and methods for calculating the strength of composite parts, namely: comparison of approaches to strength calculations using the ANSYS Workbench program both with and without using the Composite Preppost package, with the results obtained during testing.

When creating a simulation model without using the Composite Preppost package, the layers of the composite were modeled separately, and when using the Composite Preppost, the layers direction and the fabrics layout of carbon fiber were taken into account.

With all the acquired computations, it was found out that the calculation method of the ANSYS Workbench program using the Composite Preppost package gives more accurate results than the method where the layers are "laid" in a "manually" – by creating simulations with one carbon fiber layer thickness and setting the mechanical properties for these layers.

Электромеханическое состояние композиционных оболочек с учетом пьезоэлектрического эффекта

Нгуен Х.Л., Фирсанов В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Композиционные материалы нашли широкое применение в различных областях техники с целью снижения массы и повышения прочности конструкций. Кроме того, композиты, обладающие пьезоэлектрическим эффектом, помогают эффективно управлять деформациями и необходимыми преобразованиями электромеханической энергии. С помощью различных сенсоров и актуаторов, изготовленных из smart-пьезокомпозитов, летательные аппараты можно обеспечить оптимальным распределением аэродинамических

нагрузок по размаху упругого крыла, а также уменьшить аэродинамические нагрузки на при маневрах и порывах ветра, подавить флаттер, исключить уровень вибраций.

В данной работе в рамках неклассической теории представлена математическая модель электромеханического состояния композиционных цилиндрических оболочек с учетом пьезоэлектрического эффекта. Оболочка рассматривается как твердое упругое тело и находится под действием произвольных механических и электрических нагрузок. Перемещения и электрические потенциалы разлагаются в полиномиальные ряды по нормальной координате. Система уравнений равновесия и граничные условия для пьезокомпозиционных оболочек получены с помощью вариационного принципа Лагранжа. Для приведения краевой задачи к системе обыкновенных дифференциальных уравнений используются представление внешних нагрузок и компонентов электроупругостного состояния в тригонометрических рядах по окружной координате. Деформации оболочки находятся с помощью геометрических соотношений, тангенциальные напряжения и электрические напряженности получаются из соотношений обобщенного закона Гука и закона Максвелла.

Рассматривается пример расчета композиционных замкнутых цилиндрических оболочек с учетом пьезоэлектрического эффекта из материала “Поливинилиденфторид” (PVDF) с симметричным и ассиметричным распределениями слоев. Дано сравнение результатов расчета максимальных нормальных напряжений на жестко закрепленных краев оболочки, соответствующих уточненной и классической теориям типа Кирхгофа-Лява. Установлено, что вблизи жесткозакрепленных краев имеют место напряжения типа “погранслои”, которыми в классической теории пренебрегают. Такие дополнительные напряжения необходимо учитывать при оценке прочности и долговечности элементов конструкций.

Electromechanical state of composite shells with piezoelectric effect

Nguyen L.L., Firsanov V.V.

MAI, Moscow, Russia

Composite materials have found wide application in various fields of technology in order to reduce weight and increase the strength of structures. In addition, composites with the piezoelectric effect help to effectively manage deformations and necessary transformations of electromechanical energy. With the help of various sensors and actuators made of smart-piezo composites, aircraft can be provided with an optimal distribution of aerodynamic loads over the span of an elastic wing, as well as reduce aerodynamic loads during maneuvers and gusts of wind, suppress flutter, and eliminate the level of vibrations.

In this paper, based on the non-classical theory, a mathematical model of the electromechanical state of composite cylindrical shells with allowance for the piezoeffect is presented. The shell is considered as a rigid elastic body and is under the influence of arbitrary mechanical and electrical loads. The displacements and electric potentials are decomposed into polynomial series along the normal coordinate. The system of equilibrium equations and boundary conditions for piezocomposite shells are obtained using the variational Lagrange principle. To reduce the boundary value problem to a system of ordinary differential equations, the representation of external loads and components of the electrically elastic state in trigonometric series along the circumferential coordinate is used. The deformations of the shell are found using geometric relationships, tangential stresses and electric stresses are obtained from the relationships of the generalized Hooke's law and Maxwell's law.

An example of the calculation of composite closed cylindrical shells taking into account the piezoelectric effect from the material “Polyvinylidene fluoride” (PVDF) with symmetric and asymmetric distributions of layers is considered. A comparison is made of the results of calculating the maximum normal stresses at rigidly fixed edges of the shell, which correspond to the refined and classical theories of the Kirchhoff-Love type. It was found that near rigidly fixed edges there are stresses of the “boundary layer” type, which are neglected in the classical theory. Such additional stresses must be taken into account when assessing the strength and durability of structural elements.

Разработка нелинейной модели слоистого композиционного материала

Павлов А.А., Спирина М.О., Куркин Е.И., Селиванов С.Е.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Развитие аэрокосмической промышленности напрямую зависит от совершенствования конструкционных материалов и развития методов проектирования изделий. Использование слоистых материалов в конструкциях позволяет создавать изделия с значительной удельной прочностью, коррозионной стойкостью, износостойкостью. Свойства таких композиционных материалов зависят от состава и сочетания компонентов и прочности связи между ними. Целью работы является разработка нелинейной модели слоистого композиционного материала, предсказывающей его механические характеристики на основе характеристик волокна и связующего.

Для разработки модели материала используется конечно-элементное решение задачи растяжения представительного объема материала в системе Digimat. Конечно-элементные модели представительного элемента слоистых композитов с полотняным и саржевым плетениями, состоят из 125 000 элементов. Модели учитывают плотность и структуру плетения углеродной ткани, а также используют нелинейную модель жесткости связующего. Проведен расчет деформированного состояния представительных объемов материала под нагрузкой, заданной в направлении 0 и 45 градусов. Получены поля напряжений и деформаций, выполнена оценка жесткости материала в зависимости от направления армирования.

Экспериментальная часть исследования включала в себя формирование образцов композита с полотняным и саржевым плетениями и исследование их кривых нагружения на универсальной сервогидравлической машине MTS 793 под направлением приложения нагрузки 0 и 45 градусов по отношению к направлению волокон.

В расчетах и в эксперименте получено, что нелинейный характер кривых нагружения более ярко выражен для образцов, соответствующих направлению 45 градусов, тогда как образцы в направлении 0 градусов близки к линейному упругому материалу. Такое поведение вызвано тем, что в случае приложения нагрузки вдоль волокон основную роль играет линейная упругость волокна, тогда при приложении нагрузки под углом 45 градусов более заметную роль играет работа обладающего пластичностью связующего.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту FSSS-2020-0016.

Laminate composite material nonlinear model development

Pavlov A.A., Spirina M.O., Kurkin E.I., Selivanov S.E.

Samara University, Samara, Russia

The development of the aerospace industry is directly dependent on the improvement of structural materials and the development of product design methods. The use of laminated materials in structures makes it possible to create products with significant strength, corrosion resistance and durability. The properties of such composite materials depend on the composition and combination of components and the strength of the bond between them. The aim of this work is to develop a nonlinear model of a laminated composite material that predicts its mechanical characteristics based on the properties of the fiber and binder.

To develop a material model, a finite element solution to the strain-stress problem of a representative volume of material in the Digimat system is used. Finite element models of a representative element of laminated composites with plane and twill weaves consists of 125,000 elements. The models take into account the density and structure of the weave of the carbon fabric and also use a non-linear model of the binder stiffness. The calculation of the deformed state of representative volumes under a load set in the direction of 0 and 45 degrees are carried out. The fields of stresses and deformations are obtained, the stiffness of the material is assessed depending on the direction of reinforcement.

The experimental part of the study included the formation of composite specimens with plain and twill weaves and the study of their loading curves on a universal servo-hydraulic machine MTS 793 under the load direction of 0 and 45 degrees in relation to the direction of the fibers.

In the calculations and in the experiment, it was found that the nonlinear nature of the loading curves is more delineated for the specimens corresponding to the direction of 45 degrees, while the specimens in the direction of 0 degrees are close to the linear elastic material. This behavior is due to the fact that in the case of applying a load along the fibers, the main role is played by the linear elasticity of the fiber, then when a load is applied at an angle of 45 degrees, the work of the plastic binder is more noticeable.

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the project FSSS-2020-0016.

Экспериментальное исследование нелинейности механических характеристик слоистых тканевых углепластиков с перекрёстной структурой армирования

Павлова С.А., Кишов Е.А., Павлов А.А., Селиванов С.Е.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Большинству конструкционных авиационных материалов свойственно такое явление как разупрочнение под нагрузкой. Этот эффект проявляется в резком снижении жёсткости материала при достижении внутренними усилиями некоторого критического значения. В металлах разупрочнение описывается моделями упруго-пластического поведения, которые строятся в соответствии с диаграммой «напряжения-деформации» для данного типа материала. Соответственно, если в модели металлической конструкции учитываются пластические явления, то о ней говорят, как о модели с физической нелинейностью.

В связи с активным внедрением слоистых композитов в силовых авиационных конструкциях возникает ряд вопросов, связанных с их адекватным математическим моделированием. Важной задачей является правильное предсказание жёсткостных и прочностных свойств материала в условиях неупругих деформаций. Явление разупрочнения композитов является предметом механики повреждения и описывается моделями «прогрессирующего разрушения». Данные модели определяются выбором определённого критерия прочности и закона, по которому жёсткостные характеристики материала уменьшаются по мере превышения внутренними усилиями определённых критических значений. В момент инициации разрушения модули упругости материала умножаются на постоянный коэффициент, меньший единицы. Подбор коэффициента для адекватного отражения свойств материала при моделировании представляет собой отдельную задачу, требующую проведения специальных экспериментов.

Экспериментальные исследования механических характеристик проводились на образцах слоистых тканевых углепластиков двух типов с перекрёстной структурой армирования на различные виды нагружения.

Проведенные испытания дают на выходе диаграммы, которые можно «встроить» в математическую модель композита, аппроксимировав зависимости напряжений и деформаций подходящим способом. Таким образом, формируется модель композиционного материала с физической нелинейностью, основанная на экспериментальных данных. Это позволяет снизить неточность в оценке величин напряжений разрабатываемой конструкции за счёт назначения традиционных коэффициентов деградации в силу отсутствия последних как таковых, и повысить точность прогнозирования закритического поведения композита.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту FSSS-2020-0016.

Experimental study of nonlinearity of the mechanical properties of layered woven carbon fiber reinforced plastics with a cross-hatching structure

Pavlova S.A., Kishov E.A., Pavlov A.A., Selivanov S.E.

Samara University, Samara, Russia

Most airframe structural materials are characterized by such phenomenon as softening under load. This effect manifests itself in a sharp decrease of material's stiffness when internal forces reach a certain critical value. In metals, softening is described by the models of elastic-plastic behavior, which are constructed in accordance with a stress-strain diagram for a given type of

material. Mathematical models considering phenomena of a metal structure is called a model with physical nonlinearity.

Due to the active introduction of layered composites in the load-bearing airframe structures, a number of questions arise related to their adequate mathematical modeling. An important task is to correctly predict the stiffness and strength properties of a material considering inelastic deformations. The phenomenon of softening of a composite material is the subject of damage mechanics and is described by models of progressive fracture. These models are determined by the choice of a certain strength criterion and the law according to which the stiffness characteristics of the material decrease as the internal forces exceed certain critical values. Selection of such a coefficient for an adequate reflection of the material properties for modeling products is a separate task that requires special experimental study.

Experimental studies of the mechanical characteristics of layered carbon fiber reinforced plastics of two types were carried out on specimens with a cross-hatching structure for the following types of loading: tension, compression, three-point bending of a straight beam and bending of a curved beam.

The carried out tests give out the diagrams of the stress-strain state, which can be "embedded" into the mathematical model of the composite by approximating the dependences of stresses and strains in a suitable way. Thus, a model of a composite material with physical nonlinearity is formed, based on experimental data. This makes it possible to reduce the inaccuracy in assessing the stress values of the structure under development due to the appointment of traditional degradation coefficients due to the absence of the latter as such, and to increase the accuracy of predicting the supercritical behavior of the composite.

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the project FSSS-2020-0016.

Численное моделирование процесса охлаждения слоистого пакета из композиционного материала с термопластичной матрицей

Приступова Ю.С., Аношкин А.Н., Писарев П.В.

ПНИПУ, г. Пермь, Россия

В настоящее время для изготовления конструкций из термопластичных композиционных материалов (ТКМ) используют три основные технологии: прессование из дисперсно-армированных материалов; термоштамповка из листовых заготовок и автоматизированная выкладка препрега [1, 2]. Применение технологии прессования несет в себе экономическую выгоду за счет более высокотемпературных и энергоемких режимов. Технология прессования включает в себя этап нагрева; термоформирования и транспортировки.

В рамках настоящей работы проведено численное моделирование процесса охлаждения слоистого пакета из ТКМ в оснастке в процессе его транспортировки из инфракрасной камеры в формовочный пресс. Осуществлен подбор геометрических характеристик оснастки и степени обработки поверхности оснастки для обеспечения равномерного температурного распределения.

Объектом исследования является слоистый пакет, состоящий из восьми слоев ТКМ объемное содержание волокна 58%, плетение 5Н сатин, схема армирования [0/90]. Слоистый пакет помещен в металлическую оснастку с толщинами 6, 10, 12, 15 мм.

Математическая постановка задачи включает нестационарное уравнение теплопроводности для анизотропных тел. Начальное значение температуры ТКМ и металлической оснастки 485 градусов Цельсия. Для решения поставленной задачи использовались граничные условия излучения, конвекции.

По результатам численного моделирования были получены поля распределения температуры в слоистом пакете. Выявлено, что при использовании металлической оснастки толщиной 15 мм разница между минимальным и максимальным значением температур в слоях пакета из ТКМ и не превышает 5 градусов Цельсия. Обнаружено, что допустимое время транспортировки слоистого пакета из ТКМ увеличивается в два раза, по сравнению со

временем транспортировки для оснастки толщиной 10 мм. Выявлено, что шлифовка поверхности металлической оснастки приводит к снижению тепловых потерь.

Литература:

1. Meyer D.R., Carnevale P., Bersee H.E.N., Beukers A. New affordable reinforced thermoplastic composite for structural aircraft applications // 50th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. – 2009.

2. Kobayashi S., Tanaka A. Resin Impregnation Behavior in Processing of Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Composites // Advanced Composite Materials. – p. 91-102. – 2012.

Numerical Modeling of the Cooling Process of a Composite Material Laminated Package with a Thermoplastic Matrix

Pristupova Y.S., Anoshkin A.N., Pisarev P.V.
PNRPU, Perm, Russia

Currently, three main technologies are used for the manufacture of structures from thermoplastic composite materials (TCM): pressing from dispersion-reinforced materials; thermal stamping from sheet blanks and automated laying out of prepreg [1, 2]. The use of pressing technology has certain economic benefits due to higher temperature and energy-intensive modes implied. The pressing technology includes heating, thermoforming and transportation phases.

For this work we performed a numerical simulation of a TCM laminated package cooling process while the package was still in the tooling during the transportation from an infrared camera to a molding press. The tooling geometric characteristics and the degree of surface treatment were selected to ensure a uniform temperature distribution.

The object of research was a layered package consisting of eight layers of TCM, the volumetric fiber content was 58%, weaving was 5H satin, the reinforcement scheme was [0/90]. The laminated package was placed in a metal tooling with thicknesses of 6, 10, 12, 15 mm.

The mathematical formulation of the problem includes a nonstationary heat conduction equation for anisotropic bodies. The initial value of the TCM and metal equipment temperature was 485 degrees. To solve the problem, the radiation and convection boundary conditions were used.

Based on the results of numerical simulation, the temperature distribution fields in the layered package were obtained. It was revealed that when using metal tooling with a thickness of 15 mm, the difference between the minimum and maximum temperature values in the layers of the TCM package did not exceed 5 degrees. It was found that the permissible transport time for the TCM laminated package was doubled as compared to the transport time for a 10 mm thick tooling. It was revealed that grinding the metal tooling surface leads to a decrease in heat losses.

Исследования процесса создания полимерных композитных материалов методом непрерывного электроформования для авиастроения

Ребров И.Е., Жарков Я.Е., Ямщиков В.А., Хомич В.Ю.
ИЭЭ РАН, г. Москва г, Россия

Установка для электроформования состоит из системы подачи полимерного раствора, многоканального высоковольтного генератора сигнала прямоугольной формы и 2-х электродов, расположенных на расстоянии 1-30 см друг напротив друга. Для формирования высоковольтных импульсов использованы коммутаторы (ВВК) на базе IGBT транзисторов [3]. Они управляются низковольтным задающим генератором через драйверы управления. К каждому электроду подключены два ВВК, служащих для подключения высокого напряжения и заземления электрода. Непрерывность процесса формования обеспечивается двумя ВВК, предназначенными для смены полярности капилляра. Это позволяет компенсировать заряд электретных волокон в процессе их ориентированной укладки, а также усиливает межслойную связь кулоновскими силами.

Процесс основан на изменении точки осаждения волокна благодаря смене напряжения на электродах в противофазе и отклонению вытягиваемой электрогидродинамической струи под действием электрического поля (ЭП). Для обеспечения требуемой длины материала предложено использовать медленно смещающуюся подложку [4].

Результаты работы показывают возможность осуществлять непрерывный процесс электроформования, а также способность обеспечить высокую скорость перераспределения ЭП в пространстве между капилляром и электродной системой, что играет важную роль в создании полимерных композитных материалов методом электроспиннинга.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 18-29-17066 МК.

Литература:

1. Kashin A.V. et al. // Applied physics. №3. 2019. 98-104.
2. Rebrov I. E. et al. // chemical and technical journal. 2020. 10.1016/j.cej.2020.126561.
3. Rebrov I. E., Kashin A.V. et al. // journal of Applied physics. №3. 2018. 85-89.
4. Rebrov I. E. et al. // XXI Mendeleev Congress. Saint Petersburg, 2019. Vol. 2B. P. 349-349.

Investigation of the process of creating polymer composite materials by continuous electrospinning for aircraft construction

Rebrov I.E., Zharkov Y.E., Yamshchikov V.A., Khomich V.Yu.
IEE RAS, Moscow, Russia

The paper presents a technology for creating materials with ordered orientation of micron- and submicron-sized fibers by electrospinning from solutions or melts [1, 2]. Such carbonized materials can be used as a reinforcing filler for structural composites that are widely used in the aircraft industry.

The setup consists of a polymer solution supply system, a multi-channel high-voltage square wave generator, and 2 electrodes located at a distance of 1-30 cm opposite each other. Switches based on IGBT transistors were used to generate HV pulses [3]. They are controlled by a low-voltage generator via control drivers. Each electrode is connected to two HV switches, which are used for connecting HV and grounding the electrode. The continuity of the electrospinning process is provided by two HVS, allocated to change the polarity of the capillary. This provides compensation for the charge of electret fibers during their oriented stacking and makes it possible to strengthen the interlayer bond by Coulomb interaction forces.

The process is based on a change in the deposition point of the fiber due to a change in the voltage at the electrodes in the opposite phase and the deflection of the electrohydrodynamic jet under the action of an electric field. To ensure the required length of the material, it is proposed to use a slowly shifting substrate [4].

This technology makes it possible to carry out the process without interruption and to ensure a high rate of redistribution of the electric field in the space between the capillary and the electrodes, which plays an important role in the creation of polymer composite materials by electrospinning.

This work was supported by the RFBR 18-29-17066 МК.

References:

1. Kashin A.V. et al. // Applied physics. №3. 2019. 98-104.
2. Rebrov I. E. et al. // chemical and technical journal. 2020. 10.1016/j.cej.2020.126561.
3. Rebrov I. E., Kashin A.V. et al. // journal of Applied physics. №3. 2018. 85-89.
4. Rebrov I. E. et al. // XXI Mendeleev Congress. Saint Petersburg, 2019. Vol. 2B. P. 349-349.

Прогнозирование эффективных упругих характеристик пространственно-армированных композиционных материалов на фрагменте структуры

Роман К.В., Писарев П.В., Ермаков Д.А.
ПНИПУ, г. Пермь, Россия

Работа посвящена прогнозированию эффективных упругих характеристик (ЭУХ) пространственно-армированных композиционных материалов (ПАКМ) [1]. Зачастую макромеханические свойства ПАКМ оцениваются с помощью периодической структуры элементарных ячеек с использованием микромеханических методов. Но в связи со сложной неоднородной структурой армирующего каркаса становится затруднительно выделять ячейку периодичности (ЯП) с осями симметрии, относительно которых ячейка была бы абсолютно симметричной. При этом возникает сложность в использовании периодических граничных условий на гранях этой ячейки [2]. В данном случае следует использовать модель представительного объема материала, состоящего из нескольких ячеек периодичности. При

этом можно использовать два подхода из множества прочих: прогнозирование эффективных упругих характеристик на фрагменте ПАКМ с явным описанием структуры во всех ячейках и с использованием метода локального приближения (МЛП), основанного на эффекте ближнего порядка во взаимодействии неоднородностей [3].

Объектом исследования является фрагмент ПАКМ, состоящий из нитей армирующего каркаса и связующего. Фрагмент состоит из 9 комплексных ячеек периодичности, каждая из которых имеет один ряд нитей основы, два ряда нитей утка и две прошивочные нити. Математическая постановка краевых задач соответствует теории упругости анизотропного тела, состоит из уравнения равновесия, геометрических соотношений Коши и обобщенного закона Гука.

По результатам проведенных вычислительных экспериментов получено решение 6 краевых задач механики деформируемого твердого тела и рассчитаны эффективные модули упругости ПАКМ. Сравнительный анализ полученных результатов выявил, что максимальное отклонение между подходами для модулей упругости составило 13,6% в направлении Z, для модулей сдвига – 23,8% в плоскости XZ. Проведена верификация полученных результатов.

Литература:

1. Modeling three-dimensional fabrics and three-dimensional reinforced composites: challenges and solutions / SV Lomov, G Perie, DS Ivanov, I Verpoest and D Marsal / *Textile Research Journal* / 81(1) 28–41 / 2011
2. Homogenisation of a sheared unit cell of textile composites: FEA and approximate inclusion model / D Ivanov, I Verpoest / *Revue européenne des éléments finis* / 2005
3. Соколкин Ю.В. Механика деформирования и разрушения структурно неоднородных тел / Ю.В. Соколкин, А.А. Ташкинов - М.: Наука, 1984. – 115 с.

Prediction of Effective Elastic Characteristics of Spatially-Reinforced Composite Materials on a Structure Fragment

Roman K.V., Pisarev P.V., Ermakov D.A.

PNRPU, Perm, Russia

The work is devoted to predicting the effective elastic characteristics (EEC) of spatially reinforced composite materials (SRCM) [1]. Often, the SRCM macromechanical properties are assessed implying the periodic structure of unit cells using micromechanical methods. But in connection with the complex heterogeneous structure of the reinforcing frame, it becomes difficult to distinguish a periodicity cell (PC) with symmetry axes relative to which the cell would be absolutely symmetric. In this case, it becomes difficult to use periodic boundary conditions on the faces of this cell [2]. A representative volume model of the material should be used for that, consisting of several periodicity cells. Two approaches from many others can be used: predicting the effective elastic characteristics on a SRCM fragment with an explicit description of the structure in all cells and the local approximation method (LAM) based on the effect of short-range order in the inhomogeneities interaction [3].

The object of the research was a SRCM fragment, consisting of a reinforcing frame threads and a binder. The fragment consisted of 9 complex periodicity cells, each of which had one row of warp threads, two rows of weft threads and two sewing threads. The mathematical formulation of boundary value problems corresponds to the theory of anisotropic body elasticity, consists of the equilibrium equation, geometric Cauchy relations and the generalized Hooke's law.

Based on the results of the computational experiments, the solutions of 6 boundary value problems of the deformable solid mechanics were obtained and the SRCM effective elastic moduli were calculated. A comparative analysis of the results obtained revealed that the maximum deviation between approaches was 13.6% in the Z direction for the elastic moduli, 23.8% in the XZ plane for the shear moduli. The results are verified.

References:

1. Modeling three-dimensional fabrics and three-dimensional reinforced composites: challenges and solutions / SV Lomov, G Perie, DS Ivanov, I Verpoest and D Marsal / Textile Research Journal / 81(1) 28–41 / 2011
2. Homogenisation of a sheared unit cell of textile composites: FEA and approximate inclusion model / D Ivanov, I Verpoest / Revue européenne des éléments finis / 2005
3. Sokolkin Yu.V. Mechanics of deformation and destruction of structurally inhomogeneous bodies / Yu.V. Sokolkin, A.A. Tashkinov - Moscow: Nauka, 1984. -- 115 p.

Разработка методики приближенной оценки прочностных свойств многомерно-армированных углерод-углеродных композиционных материалов

Рыболовлев М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) активно используются в производстве различных деталей, в частности, в изготовлении самосмазывающихся подшипников для блоков атомных электростанций, элементов высокотемпературного оборудования и головных обтекателей баллистических ракет. Данные материалы обладают высокой температурной стойкостью и ростом модуля упругости по мере повышения температуры, вплоть до 1900 градусов Цельсия. Однако, в связи с их большой себестоимостью по текущим технологическим процессам, осуществляются попытки перехода на новое сырье для производства УУКМ. Тем не менее, на сегодняшний день прочностные свойства получаемых конфигураций до испытаний известны только в общих чертах. Кроме того, стандартная методика оценки прочности по коэффициенту объемного армирования даёт большое расхождение с реальностью, что осложняет процесс разработки и производства новых конфигураций.

Большую проблему представляют текущие затраты на проведение верификационных испытаний малых экспериментальных партий материалов. Издержки крайне значительны и не позволяют провести полноценную научно-исследовательскую работу по внедрению технологии в реальное производство. В связи с этим основной целью данной работы является снижение стоимости разработки новых типов конфигураций УУКМ.

В ходе работы над указанной проблемой разработана методика приближенной оценки прочностных свойств материала по прочностным свойствам его составляющих компонентов с учетом их анизотропии. Для оценки прочностных свойств используется компонент универсальной программной системы конечно-элементного анализа Ansys Material Designer. Для поиска оптимальных толщин волокна, его стоимости и конечной матрицы жесткости предлагается использовать прямой метод многомерной безусловной оптимизации по алгоритму Розенброка.

Таким образом, проводимые исследования дают возможность снизить издержки на проведение тестовых пропиток каркасов и будут способствовать введению в эксплуатацию нового типа УУКМ.

Development of a method for approximate estimation of strength properties of multidimensional-reinforced carbon-carbon composite materials

Rybolovlev M.S.

MAI, Moscow, Russia

Carbon-carbon composite materials (UCM) are widely used in the production of various parts, in particular, in the manufacture of self-lubricating bearings for nuclear power plant units, elements of high-temperature equipment, and head fairings of ballistic missiles. These materials have high-temperature resistance and an increase in the elastic modulus as the temperature increases, up to 1900 degrees Celsius. However, due to their high cost for current technological processes, attempts are being made to switch to new raw materials for the production of UCM. However, to date, the strength properties of the resulting configurations are known only in General terms before testing. In addition, the standard method for evaluating the strength of the volume reinforcement coefficient gives a large discrepancy with reality, which complicates the process of developing and manufacturing new configurations.

A big problem is a current cost of conducting verification tests of small experimental batches of materials. The costs are extremely significant and do not allow for full-fledged research work on the implementation of technology in real production. In this regard, the main goal of this work is to reduce the cost of developing new types of UCM configurations.

In the course of working on this problem, a method has been developed for approximate estimation of the strength properties of a material based on the strength properties of its constituent components, taking into account their anisotropy. To evaluate the strength properties, a component of the universal software system for finite element analysis Ansys Material Designer is used. To find optimal fiber thicknesses, its cost, and the final stiffness matrix, we propose to use the direct method of multidimensional unconditional optimization using the Rosenbrock algorithm.

Thus, the ongoing research makes it possible to reduce the cost of conducting test impregnations of frames and will contribute to the commissioning of a new type of UCM.

Возможности реализации свойств молниестойкости авиационных углепластиковых конструкций, имеющих в своем составе клеевые соединения

Саламатин В.С., Насонов Ф.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В авиационной промышленности конструкционные углепластики (КУ) применяются взамен металлических материалов, что обеспечивает снижение массы планера ЛА [1]. Вместе с тем, КУ имеют специфические особенности, влияющие на молниезащищенность самолетных конструкций: они являются слабыми проводниками. В связи с этим, незащищенные углепластиковые конструкции при поражении молнией могут получать повреждения, недопустимые по ресурсным и эксплуатационным требованиям. Актуальность данной работы обусловлена постоянным ростом объемов применения ПКМ в авиационной промышленности [2-3], необходимостью обеспечения молниезащищенности композитных конструкций с точки зрения безопасности.

В работе разрабатывается и исследуется способ реализации свойств молниестойкости авиационных углепластиковых конструкций [4], имеющих в своем составе клеевые соединения. Электропроводность достигается за счет модифицирования клеевой композиции углеродными наночастицами. Проводятся работы по назначению оптимальной концентрации наночастиц и выбору метода распределения модификатора в объеме. Опытные клеевые композиции с низким содержанием наночастиц испытываются на электропроводность и главные механические свойства. Выполнение этих требований будет обеспечивать показатель молниезащищенности конструкции, а также стекание зарядов статического электричества.

1. Гуляева А.Г. Разработка технологии наномодифицированных препрегов углепластиков для молниезащитных покрытий. Научные труды ММНК XXXVII Гагаринские чтения, М.: МАТИ, 2011. Т.1. С. 21 – 22.

2. Насонов Ф.А., Морозов Б.Б. Новые возможности и проблемы на пути применения нанотехнологий и наномодифицированных материалов при производстве изделий авиационной техники. Труды VI международной научной конференции для молодых ученых «Наноматериалы и нанотехнологии: проблемы и перспективы», 15 – 16 мая 2017 г., СГТУ им. Ю.А. Гагарина, 2017. С. 81 – 84.

3. Гуляева А.Г., Гуляев И.Н., Комарова О.А. Молниезащитные покрытия на основе углеродных наполнителей для ПКМ нового поколения. В сборнике: Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, М.: ВИАМ, 2017. С. 45 - 55.

4. Саламатин В.С. Поиск путей обеспечения молниестойкости авиационных углепластиковых конструкций, содержащих в своем составе клеевые соединения. В книге: Гагаринские чтения - 2020. Сборник тезисов докладов. 2020. С. 1078 - 1079.

Ways to ensure lightning resistance of aviation carbon fiber structures containing adhesive compounds

Salamatin V.S., Nasonov F.A.

MAI, Moscow, Russia

In the aviation industry, structural carbon fiber plastics are used instead of aluminum and titanium alloys, which provides a significant reduction in the weight of the airframe of aircraft. At the same time, structural carbon plastics have specific features that affect the lightning protection of aircraft structures: structural carbon plastics are weak conductors. In this regard, unprotected carbon fiber structures may be damaged by lightning, which is unacceptable for resource and operational requirements. The development of advanced composite structures is on the way to increase their integrality, reduce the number of mechanical fasteners and use high-strength adhesive joints. The urgency of this work due to the constant growth of the use of polymer composite materials in the aviation industry, the need to ensure molniezaschita composite structures from the point of view of security, taking into account the optimal weight efficiency designs.

The paper develops and investigates a method for implementing the lightning resistance properties of aviation carbon fiber structures that have adhesive joints in their composition. These adhesive connections are made with the minimum required electrical conductivity. Electrical conductivity is achieved by modifying the adhesive composition with carbon nanoparticles. Work is underway to determine the optimal concentration of nanoparticles and select the method of distribution of the modifier in the volume. Samples of carbon fiber with a lightning-resistant coating, connected using high-strength conductive adhesive joints, are being developed.

The purpose of this experiment is to perform a conductive adhesive joint and measure its electrical conductivity, which must be within the specified limits. The electrical resistance of the glued parts must not be worse than prescribed by the regulatory documentation, including the above-mentioned OST.

Meeting these requirements will provide an indicator of lightning protection of the structure, as well as the flow of static electricity charges.

Экспериментальная и численная оценка межслоевой трещиностойкости эпоксистереклокомпозигов при статическом нагружении

Салиенко Н.В., Бабаевский П.Г., Ленский А.Е.

МАИ, г. Москва, Россия

Слоистые стеклокoмпозиты на основе эпоксидных матриц широко применяются для создания прогрессивных аэрокосмических конструкций. Эти материалы обладают очевидными преимуществами в сравнении с традиционными видами конструкционных материалов по удельному весу, удельной жесткости и прочности, а также стойкости к коррозии и др. при возможности направленного регулирования анизотропии их структуры и свойств. Одним из основных недостатков этих материалов является низкая межслоевая прочность и трещиностойкость, вследствие возникновения и развития дефектов в полимерной матрице и на границах раздела фаз при воздействии остаточных напряжений, внешних нагрузок и факторов окружающей среды, как при производстве элементов конструкций, так и при их эксплуатации.

Существующие методики оценки не позволяют в полной мере оценить трещиностойкость слоистых полимерных композиционных материалов (ПКМ). С точки зрения оценки межслоевой трещиностойкости слоистых ПКМ на основе терморективных или термопластичных жестких полимерных матриц, более простым и эффективным является метод когезионной зоны (МКЗ), в котором в метод конечных элементов (МКЭ) имплантированы разработанные в рамках линейной упругой механики разрушения физические (микромеханические) модели, аналитически описывающие процессы упруго-пластического деформирования и хрупкого или псевдо-хрупкого предразрушения в локальной зоне впереди кончика трещины.

В рамках данной работы проведены систематические исследования в области оценки трещиностойкости слоистого эпоксистереклопластика ВПС помощью экспериментально-

расчётных методов. Проведены испытания по стандартным методикам и определены значения интенсивности выделения упругой энергии GIC и модуля упругости при растяжении. С помощью нестандартной методики определены критические параметры когезионной зоны: локальная межслоевая когезионная прочность σ_c , максимальное раскрытие когезионной зоны δ_{max} и длина когезионной зоны l_{cz} . Разработан метод численной оценки трещиностойкости слоистых ПКМ в условиях нагружения по моде I образцов в виде двухконсольной балки, основанный на использовании физической модели Баренблатта.

Experimental and numerical evaluation of interlayer crack resistance of epoxy-glass composites under static loading

Salienko N.V., Babaevsky P.G., Lensky A.E.
MAI, Moscow, Russia

Glass fiber composite laminates based on epoxy matrices are widely used to create progressive aerospace structures. These materials have obvious advantages over traditional types of structural materials in terms of specific gravity, specific stiffness and strength, as well as resistance to corrosion, etc., with the possibility of directional control of the anisotropy of their structure and properties. One of the main disadvantages of these materials is low interlayer strength and crack resistance, due to the appearance and development of defects in the polymer matrix and at the interfaces under the influence of residual stresses, external loads and environmental factors, both during the production of structural elements and during their application.

The existing evaluation methods do not allow to fully evaluating the fracture toughness of layered polymer composite materials (PCM). From the point of view evaluating of the interlayer crack resistance of layered PCMs based on thermosetting or thermoplastic rigid polymer matrices, a simpler and more efficient method is the cohesive zone (CZM), in which the physical (micromechanical) methods developed within the framework of linear elastic fracture mechanics are implanted into the finite element method models that analytically describe the processes of elastic-plastic deformation and brittle or pseudo-brittle pre-fracture in the local zone in front of the crack tip.

Within the framework of this research, systematic studies were carried out in the field of evaluating the fracture toughness of layered epoxy glass fiber reinforced plastic VPS using experimental and calculation methods. Several tests were carried out according to standard methods and the values of the intensity of the release of elastic energy GIC and the modulus of elasticity in tension were determined. Using a non-standard technique, the critical parameters of the cohesive zone were determined: the local interlayer cohesive strength (traction) σ_c , the maximum separation for the cohesive zone δ_{max} and the length of the cohesive zone l_{cz} . A method has been developed for the numerical evaluation of the crack resistance of layered PCM under conditions of static loading according to mode I of specimens in the form of a double cantilever beam, based on the use of the physical model of Баренблатт.

Исследование физико-химических и механических свойств покрытий из керамополимеров или композиционных материалов, армированных квазикристаллами и углеродными нанотрубками, полученных методом высокоскоростного ионно-плазменного магнетронного напыления

Сильченко О.Б., Никифоров П.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Уменьшение трения между деталями является актуальной темой, поэтому система «медь-графит» представляет интерес, т.к. каждый её компонент используется как твердая смазка.

В работе использован метод магнетронного ионно-плазменного распыления. Получены покрытия медь-углерод при присутствии углерода 14-93% ат. и изучены свойства – качество, прочность и коэффициент трения скольжения, выявлены зависимости от содержания углерода: при 10-15% ат. коэффициент сухого трения снижается на 0,1-0,15, увеличение углерода > 50% ат. повышает коэффициент трения до 0,25-0,35. Это обусловлено рельефом: 1) чистая медь – крупные плоские кристаллиты с четкими границами; 2) содержание

углерода <18% ат. – четкий рельеф разноразмерной структуры, шероховатость увеличена; 3) углерод >18% ат. – поверхность сглажена и однородна, шероховатость снижена. При углероде 18% ат. шероховатость уменьшилась при увеличении тока разряда магнетрона. При больших токах фиксируются нано-размерные параллельные поверхности области, при минимальных – столбчатая перпендикулярная поверхности структура.

Рентгеновский спектр показал: параметры кристаллической решетки больше расчётных значений, что значит присутствие квазиморфного состояния, стабилизированного углеродом. Дифракционных максимумов графитовой модификации углерода не выявлено, включая покрытия с содержанием 93% С, но химически он фиксируется. При наличии углерода <35% структура двухкомпонентная – кристаллическая (кристаллит 100-150 нм) и высокодисперсная (кристаллит 30-40 нм). При содержании углерода >35% кристаллиты от 20 до 50 нм. Наличие углерода >72% сдвигает и расширяет линии к соответствующим кубической фазы меди. Отсутствие дифракционных максимумов углерода говорит о его алмазоподобии (гексагональная модификация). Присутствие кристаллической и квазиморфной меди и квазиморфного алмазоподобного углерода дает приближенное описание экспериментального спектра. Ухудшение трибологических свойств при содержании углерода >35% ат., возможно, связано с его гексагональной модификацией.

Установлена зависимость свойств покрытий от содержания углерода. Полученные образцы имеют антиадгезионные и антифрикционные свойства, высокую пластичность.

Research of physical, chemical and mechanical properties of coatings made of ceramic polymers or composite materials reinforced with quasicrystals and carbon nanotubes obtained by high-speed ion-plasma magnetron sputtering

Silchenko O.B., Nikiiforov P.V.

MAI, Moscow, Russia

Reducing friction between parts is a hot topic, so, the "copper-graphite" system is of interest, as each component known as a solid lubricant.

The work uses the method of magnetron ion-plasma sputtering. Copper-carbon coatings were obtained in the presence of 14-93 at.% Carbon. and studied properties – quality, strength and coefficient of sliding friction, revealed dependences on the carbon content: at 10-15% at. the dry friction coefficient is reduced by 0.1-0.15, the increase in carbon is > 50 at.%. increases it to 0.25-0.35. This is due to the relief: 1) pure copper – large flat crystallites with clear boundaries; 2) carbon content <18% ат. – clear relief of uneven-grain structure, increased roughness; 3) carbon > 18% ат. – the surface is smoothed and homogeneous, roughness is reduced. With carbon 18% ат. the roughness decreased with increasing magnetron discharge current. At high currents, nanoscale parallel surfaces of the region are fixed, at minimum currents, a columnar structure perpendicular to the surface. The X-ray spectrum showed: the parameters of the crystal lattice are higher than the calculated values, which means the presence of a quasi-amorphous state stabilized by carbon. Diffraction maxima of the graphite modification of carbon were not revealed, including coatings with a content of 93% C, but it is chemically fixed. In the presence of carbon <35%, the structure is two-component – crystalline (crystallite 100-150 nm) and highly dispersed (crystallite 30-40 nm). With a carbon content > 35%, crystallites are from 20 to 50 nm. The presence of carbon > 72% shifts and broadens the lines to the corresponding cubic copper phase. The absence of diffraction maxima of carbon indicates its diamond-like nature (hexagonal modification). The presence of crystalline and quasi-amorphous copper and quasi-amorphous diamond-like carbon gives an approximate description of the experimental spectrum. The deterioration of tribological properties at a carbon content > 35 at.% Is possibly associated with its hexagonal modification.

The dependence of the properties of the coatings on the carbon content has been established. The samples have antifriction properties, high plasticity.

Обзор существующих конструктивных исполнений несущих топливных баков

Склезнев А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время в России и за рубежом в ракетно-космической технике используются в основном металлические несущие топливные баки различной конструкции. В зависимости от действующих нагрузок и условий эксплуатации, конструктивно они могут быть выполнены в виде: гладких оболочек; оболочек, подкреплённых продольными и поперечными элементами – так называемые стрингерные баки; вафельных конструкций – баков, обечайки которых выполнены из толстых плит алюминиевого сплава с ячейками прямоугольной или ромбовидной формы.

В работе проводится анализ указанных конструктивных решений на основе действующих нагрузок, применяемых конструкторско-технологических решений, технологических процессов изготовления.

Для проведения обзора было исследовано патентные документы (глубина поиска 20 лет), научно-технические материалы, включая статьи с 2010 года. В работе показана динамика публикационной и патентной активности по годам, определены основные страны, ведущие исследования в данной тематике, а также ведущие предприятия, занимающиеся исследованиями и конструированием подобных изделий.

Для определения перспективных конструктивно-силовых схем рассмотрены методы проектирования несущих баков, в том числе методы оптимального проектирования, топологического проектирования и проектирования на основе бионически-подобных конструктивно силовых схем.

Показано, что наибольший эффект в весовом, прочностном, жёсткостном отношении может быть достигнут для конструктивного решения, выполненного на основе металло-композитного бака при армировании полимерным композиционным материалом в направлениях, соответствующих действующим на конструкцию силовым факторам. Это означает, что основные, несущие нагрузку элементы конструкции должны иметь однонаправленную структуру композитного материала. В связи с тем, что однонаправленный композит может эффективно работать только при одноосном нагружении, соответствующий структурный элемент должен являться ребром.

Среди перспективных конструктивно силовых схем несущего топливного бака выделены интегральные конструктивные схемы, состоящие из систем однонаправленных рёберных структур из композиционного материала, которые могут быть выполнены при помощи автоматизированных технологических методов производства.

На основании выполненных обзора и анализа предложена конструктивно-силовая схема металло-композитного несущего топливного бака.

Overview of existing designs for load-bearing fuel tanks

Skleznev A.A.

MAI, Moscow, Russia

At present, in Russia and abroad, in rocket and space technology, mainly metal supporting fuel tanks of various designs are used. Depending on the existing loads and operating conditions, structurally they can be made in the form of: smooth shells; shells reinforced with longitudinal and transverse elements - the so-called stringer tanks; wafer structures - tanks, the shells of which are made of thick plates of aluminum alloy with rectangular or diamond-shaped cells.

The paper analyzes the above design solutions based on the existing loads, applied design and technological solutions, manufacturing processes.

For the review, patent documents (search depth 20 years), scientific and technical materials, including articles from 2010, were examined. The paper shows the dynamics of publication and patenting activity over the years, identifies the main countries conducting research in this topic, as well as leading enterprises engaged in research and design of such products.

To determine promising structural-power schemes, methods of designing load-bearing tanks are considered, including methods of optimal design, topological design and design based on bionically-like structures.

It is shown that the greatest effect in terms of weight, strength, and stiffness can be achieved for a constructive solution based on a metal-composite tank with reinforcement with a polymer composite material in directions corresponding to the force factors acting on the structure. This means that the main load-bearing structural elements must have a unidirectional composite structure. Due to the fact that a unidirectional composite can work effectively only under uniaxial loading, the corresponding structural element must be a rib-like.

Among the promising structural power circuits of the supporting fuel tank, integrated structural circuits are distinguished, consisting of systems of unidirectional rib structures made of composite material, which can be performed using automated technological production methods.

On the basis of the performed review and analysis, a structural-power scheme of a metal-composite supporting fuel tank is proposed.

Оценка точности модели пластичности короткоармированного композиционного материала

Спирина М.О., Куркин Е.И.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Использование композиционного материала, армированного короткими высокопрочными волокнами, позволяет изготовить пространственное изделия сложной формы в рамках одного производственного цикла, применяя метод инъекционного литья. Механические свойства изделия из короткоармированного композиционного материала зависят от параметров и условий процесса литья, реологических свойств материала, ориентации и распределения волокон, что обуславливает необходимость создания нелинейной анизотропной модели механических характеристик представительного объема композита и использования этой модели для расчета напряженно-деформированного состояния изделий.

В работе проведено моделирование механических характеристик представительного объема короткоармированного композиционного материала в Digitat MF с использованием линейной модели упругости волокна и ряда нелинейных моделей пластичности связующего – с использованием степенного, экспоненциального, а также линейно-экспоненциального законов упрочнения. Для определения параметров моделей полиамида, армированного 50% короткого стекловолокна, использован модуль реверс-инжиниринга Digitat MX. Модели построены по результатам испытаний на растяжение образцов по стандарту ISO-527-2-2012, вырезанных из пластины под углами 0°, 45° и 90° к направлению литья.

Наилучшим образом исследованные модели описывают растяжение образцов, вырезанных под углом 0° – все три модели дают хорошую точность описания этих образцов. Для описания механических характеристик образцов под углами 45° и 90° точнее всего оказывается линейно-экспоненциальный закон упрочнения, который из-за этого можно считать предпочтительным при описании характеристик произвольно нагруженного анизотропного материала.

Исследование выполнено финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-79-10205.

Accuracy estimation of the short fibers reinforced composite material plasticity model

Spirina M.O., Kurkin E.I.

Samara University, Samara, Russia

The use of a composite material reinforced with short high-strength fibers makes it possible to manufacture spatial structures of complex shape within a single production cycle using the injection molding method. The mechanical properties of a product made from a short fibers reinforced composite material depend on the parameters and conditions of the molding process. There are properties of the material, the orientation and distribution of fibers, which necessitates the creation of a nonlinear anisotropic model of the mechanical characteristics of the representative volume of the composite and the use of this model for calculating the stress-strain state of products.

In this work, were simulated the mechanical characteristics of a representative volume of a shortfibers reinforced composite material in Digimat MF using a linear model of fiber elasticity and a number of nonlinear models of binder plasticity – using power-law, exponential and linear-exponential hardening laws. To determine the parameters of polyamide models reinforced with 50% short glass fiber, the Digimat MX reverse engineering module was used. The models are developed based on the results of tensile tests of specimens according to the ISO-527-2-2012 standard, cut from the plate at angles of 0°, 45° and 90° to the molding direction.

The best studied models describe the tension of samples cut at an angle of 0° – all three models give a good description of these samples. To describe the mechanical characteristics of specimens at angles of 45° and 90°, the power-exponential law of hardening is most accurate, which, because of this, can be considered preferable for describing the characteristics of an arbitrarily loaded anisotropic material.

The study was financially supported by the Russian Science Foundation, project No. 19-79-10205.

Полистирольные негативные электронорезисты как основа наноразмерных структур, сформированных электронно-лучевой литографией

Старостина Е.А., Резниченко Г.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Создание наноразмерных структур методом электронно-лучевой литографии (ЭЛЛ) актуально в настоящее время, т. к. литография при помощи электронного пучка позволяет прорисовывать или переносить рисунки очень малого размера и исключительно высокой плотности, чего невозможно добиться при помощи литографии в видимом и даже в ультрафиолетовом свете по причине явлений дифракции.

Производить нано- и микроустройства методом ЭЛЛ позволяют ультратонкие наноразмерные негативные электронорезисты на основе аморфного атактического полистирола (ПС).

Синтез полимера с атактической структурой и заданным молекулярно-массовым распределением может осуществляться методом контролируемой радикальной полимеризации. Исходными компонентами синтеза являются стирол и контролирующий агент. Для ПС, применяющегося при изготовлении электронорезистов, ММ доходит до 25 000 г/моль, а полидисперсность должна быть близка к 1. Полимер с такими характеристиками отбирается методом гель-проникающей хроматографии.

Преимущественный метод нанесения резистных масок полимера на поверхность – центрифугирование, однако для создания полистирольных плёнок электронорезиста на шероховатых поверхностях целесообразнее применять термическое испарение.

Применение атактического ПС в качестве негативного электронорезиста позволяет создавать различные микро- и наноструктуры, использующиеся в качестве элементов интегральных микросхем (ИМС), актюаторов, сенсоров, фотошаблонов, штампов для нанолитографии и пр.

Polystyrene negative electron resists as a basis for nanoscale structures formed by electron-beam lithography

Starostina E.A., Reznichenko G.M.

MAI, Moscow, Russia

Creation of nanoscale structures by the method of electron-beam lithography (EBL) is currently relevant, because lithography with an electron beam allows you to draw or transfer drawings of very small size and extremely high density, which can not be achieved with the help of lithography in the visible and even ultraviolet light because of the phenomena of diffraction.

Ultra-thin nanoscale negative electron resists based on amorphous atactic polystyrene (PS) allow the production of nano- and micro-devices with EBL.

Synthesis of a polymer with an atactic structure and a given molecular weight distribution can be performed by controlled radical polymerization. The initial components of synthesis are styrene and a controlling agent. For PS used in the manufacture of electron resists, MM is up to 25 000 g/mol,

and polydispersibility should be close to 1. A polymer with such characteristics is selected by gel-penetrating chromatography.

The main method of applying resist masks of the polymer to the surface is centrifugation, however, it is more expedient to apply thermal evaporation to create polystyrene films of electron resist on rough surfaces.

The use of atactic PS as a negative electron resist allows the creation of various micro- and nanostructures used as elements of integrated circuits (ICs), actuators, sensors, photomasks, stamps for nanolithography and so on.

Фторсодержащие ароматические амины в качестве отвердителей фталонитрильных термоактивных смол с улучшенной термоокислительной стабильностью

Терехов В.Е., Булгаков Б.А., Бабкин А.В., Кепман А.В.

МГУ, г. Москва, Россия

Полимерные композиционные материалы постепенно вытесняют металлы и сплавы в авиационно-космической промышленности. Однако, замена металлических деталей, используемых при повышенных температурах ограничена температурами эксплуатации полимерных матриц. Среди известных самыми термостойкими являются матрицы на основе фталонитрилов, однако в окислительной атмосфере они начинают окисляться при 300°C, быстро теряя свои эксплуатационные характеристики. Одним из подходов к решению данной проблемы является химическая модификация структуры полимера.

Широко известно, что связь С-Ф менее подвержена окислению, чем связь С-Н. В свою очередь введение фтора в структуру полимера реализуется использованием фторсодержащих фталонитрильных мономеров или отвердителей. Ароматические амины зарекомендовали себя в качестве наиболее эффективных отвердителей фталонитрилов. Целью данной работы является синтез фторсодержащих ароматических аминов, полимеризация с их помощью фталонитрильных мономеров и изучение термоокислительной стабильности полученной полимерной матрицы.

В рамках данной работы был опробован способ введения фтора в структуру конечного полимера за счет использования фторсодержащих фталонитрильных мономеров: 5,5'-(1,4-фениленбис(окси)бис(3,4,6-трифторфталонитрил) (1), 5,5'-(перфтор-1,4-фениленбис(окси)бис(3,4,6-трифторфталонитрил) (2), однако оказалось, что фталонитрилы, содержащие фтор во фталонитрильных кольцах малоактивны в процессе полимеризации. При этом использование фторсодержащих отвердителей 4,4'-((перфтор-1,4-фениленбис(окси)дианилин (3), 3,3'-((перфтор-1,4-фениленбис(окси)дианилин (4)) позволило получить полимеры с высокими температурами стеклования (438 и 426°C) и потери 5% массы, но при этом с улучшенной термоокислительной стабильностью, что удалось продемонстрировать с помощью термогравиметрического анализа.

В качестве мономера для полимеризации был выбран широко используемый 4,4'-(1,3-фениленбис(окси)дифталонитрил. Структурный аналог отвердителей 3 и 4 4,4'-(1,3-фениленбис(окси)дианилин, который является классическим отвердителем фталонитрильных смол, был выбран в качестве отвердителя сравнения. В результате было обнаружено, что полученные на основе отвердителей 3 и 4 полимеры окисляются медленнее, не уступая при этом в температурах начала разложения.

Работа была выполнена при поддержке Минобрнауки России. Контракт №. 14.607.21.0204 (RFMEFI60718X0204).

Fluorinated aromatic amines as curing agents for phthalonitrile thermosetting resins with improved thermo-oxidative stability

Terekhov V.E., Bulgakov B.A., Babkin A.V., Kepman A.V.

MSU, Moscow, Russia

Polymer composite materials are gradually replacing metals and alloys in the aerospace industry. However, replacement of metal parts used at elevated temperatures is limited by the operating temperatures of the polymer matrices. Among the known, the most heat-resistant are matrices based on phthalonitriles, however, in an oxidizing atmosphere, they begin to oxidize at 300 °C, rapidly

losing their performance characteristics. One of the approaches to solving this problem is the chemical modification of the polymer structure.

It is widely known that the C-F bond is less susceptible to oxidation than the C-H bond. In turn, the introduction of fluorine into the polymer structure is realized using fluorine-containing phthalonitrile monomers or curing agents. Aromatic amines have proven to be the most effective phthalonitrile curing agents. The aim of this work is the synthesis of fluorine-containing aromatic amines, the polymerization of phthalonitrile monomers with their help, and the study of the thermal-oxidative stability of the resulting polymer matrix.

Within the framework of this work, the method of introducing fluorine into the structure of the final polymer was tested by using fluorine-containing phthalonitrile monomers: 5,5'-(1,4-phenylenebis(oxy))bis(3,4,6-trifluorophthalonitrile) (1), 5,5'-((perfluoro-1,4-phenylenebis(oxy))bis(3,4,6-trifluorophthalonitrile) (2), however, it turned out that phthalonitriles containing fluorine in phthalonitrile rings are inactive during polymerization. In this case, the use of fluorine-containing curing agents 4,4'-((perfluoro-1,4-phenylenebis(oxy))dianiline (3), 3,3'-((perfluoro-1,4-phenylenebis(oxy))dianiline (4)) made it possible to obtain polymers with high glass transition (438 and 426 °C) and 5% weight loss temperatures, but at the same time with improved thermooxidative stability, which was demonstrated using thermogravimetric analysis.

The widely used 4,4'-(1,3-phenylenebis(oxy))diphthalonitrile was chosen as the monomer for polymerization. The structural analogue of curing agents 3 and 4 4,4'-(1,3-phenylenebis(oxy))dianiline, which is a classical curing agent of phthalonitrile resins, was chosen as the reference curing agent. As a result, it was found that 3- and 4-based polymers were oxidized more slowly, not inferior in the temperatures of the onset of decomposition.

The work was supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Contract No. 14.607.21.0204 (RFMEFI60718X0204).

Исследование информационного отклика волоконно-оптических датчиков при динамических нагрузках

Тихонова А.А., Аношкин А.Н., Баранов М.А., Никифоров А.С., Саженков Н.А.
ПНИПУ, г. Пермь, Россия

В настоящее время при эксплуатации авиационных конструкций, испытывающих, как правило, динамические нагрузки, особое внимание необходимо уделять вопросам безопасности и надежности. Вследствие этого актуальным является разработка систем мониторинга, позволяющих в режиме реального времени получать информацию о напряженно-деформированном состоянии конструкций.

Авторским коллективом АОЦ АКТ ПНИПУ разработан прототип системы мониторинга, включающий в себя: ВОД; защитно-позиционный слой (далее SMART-слой), позволяющий осуществлять безопасное внедрение непосредственно в конструкцию из ПКМ на этапе изготовления; интерrogатор, позволяющий обмениваться данными с ВОД; программное обеспечение, необходимое для начала обмена данными с ВОД.

Следует отметить, что при динамическом нагружении конструкций, с внедренными ВОД, необходимо корректно расшифровывать, полученную с ВОД информацию. Вследствие этого авторским коллективом была разработана методика определения и расшифровки информации в потоке данных о потере жесткости и разрушении конструкций при динамическом нагружении.

Таким образом, в ходе проведения исследований разработана и успешно внедрена система мониторинга в прототипы конструкций из ПКМ; разработаны программы и методики исследовательских испытаний прототипов конструкций, с внедренными ВОД; проведено математическое моделирование поведения прототипов конструкций при динамическом нагружении; исследован информационный отклик встроенных ВОД. Следует отметить, что результаты, полученные в ходе механических испытаний прототипов конструкций, хорошо соотносятся с данными с ВОД и коррелируют с разработанными математическими моделями соответствующих нагружений. На основании чего можно сделать вывод о том, что разработка SMART-конструкций, оснащенных ВОД, позволит избежать катастроф,

вызванных разрушением, позволит сэкономить средства на плановом осмотре авиационных конструкций.

Результаты получены при выполнении государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на выполнение фундаментальных научных исследований (проект № FSNM-2020-0026).

Research of the information response of fiber-optic sensors under dynamic loads

Tikhonova A.A., Anoshkin A.N., Baranov M.A., Nikiforov A.S., Sazhenkov N.A.

PNRPU, Perm, Russia

At present, during the operation of aircraft structures, which, as a rule, experience dynamic loads, special attention must be paid to safety and reliability issues. As a result, it is important to develop monitoring systems that allow real-time information on the stress-strain state of structures.

The team of the PNRPU developed a prototype of the monitoring system, which includes: breg optical sensor (BOS); protective-positional layer (hereinafter SMART-layer), which allows safe implementation directly into a carbon fiber reinforced plastic (CFRP) structure at the manufacturing stage; interrogator allowing data exchange with fiber optic sensor; software required to start data exchange with (BOS).

It should be noted that during dynamic loading of structures with embedded (BOS), it is necessary to correctly decode the information received from the (BOS). As a result, the team of authors developed a methodology for determining and decoding information in the data stream on the loss of rigidity and destruction of structures under dynamic loading.

Thus, in the course of research, a monitoring system was developed and successfully introduced into prototypes of structures made of (CFRP); programs and methods of research testing of prototypes of structures with the implemented (BOS) have been developed; mathematical modeling of the behavior of prototypes of structures under dynamic loading was carried out; the information response of the built-in fiber optic sensors is investigated. It should be noted that the results obtained in the course of mechanical tests of prototypes of structures correlate well with the data from the (BOS) and correlate with the developed mathematical models of the corresponding loads. Based on this, it can be concluded that the development of SMART-structures equipped with (BOS) will allow avoiding disasters caused by destruction, will save money on scheduled inspection of aircraft structures.

The results were obtained during the fulfillment of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the implementation of fundamental scientific research (project No. FSNM-2020-0026).

Влияние молекулярной структуры полиамидов на ориентацию смектических жидких кристаллов

Ткаченко Т.П., Пожидаев Е.П., Жуков А.А., Бабаевский П.Г., Кузнецов А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Повышение стандартов частоты и энергосбережения, предъявляемых к устройствам отображения информации, требует поиска новых материалов. Смектические жидкие кристаллы (СЖК) могут являться решением этой проблемы. Данная работа посвящена выбору полимерного ориентанта, обеспечивающего устойчивую однородную ориентацию СЖК.

Целью работы является исследование влияния двух типов алифатических полиамидов на свободную поверхностную энергию и однородную ориентацию СЖК.

В работе мы решали следующие задачи:

- Определяли молекулярные массы полиамидов вискозиметрическим методом.
- Измеряли краевые углы смачивания на границе раздела фаз «жидкость»-«твердое тело» с использованием систем разной изотропии и рассчитывали поверхностные энергии.
- Анализировали влияние обработки поверхности полиамидных ориентантов на однородность ориентации СЖК.

Объекты исследования: полиамид 6 и полиамид 66, растворенные в муравьиной кислоте в концентрациях 0,6% и 1%, и нанесенные центрифугированием на стеклянные подложки с

токопроводящим слоем оксида индия и олова (ITO). Для придания свойств анизотропии полимерные пленки подвергались 50, 100 и 150 циклам натирания батистом.

Методы исследования: Измерение краевых углов смачивания тестовых жидкостей (глицерин и α -бромнафталин) проводили методом висячей капли с помощью интерференционного микроскопа МИИ-4. Расчет свободной поверхностной энергии выполняли по уравнению Оуэнса-Вендта. Для оценки однородности ориентации СЖК использовали электрооптические ячейки типа сэндвич, заполненные негеликоидальным ЖКС-554, и с помощью ФЭУ-68 измеряли контрастное отношение максимума и минимума интенсивности проходящего через ячейку света.

Получены следующие результаты:

- Средневязкостная молекулярная масса полиамида 6 и 66 составила 11323 и 13564 а.е.м. Значения поверхностной энергии плёнок полиамидов, полученных из 0.6% и 1% растворов, составили 36 и 33.1 мДж/м² для полиамида 6, и 38.5 и 35.8 мДж/м² для полиамида 66.

- Для полиамидов 6 и 66 из 0.6% растворов энергия вдоль направления натирания при 150 циклах составила 44,4 и 45,3 мДж/м², а перпендикулярно – 52,4 и 43,6 мДж/м², соответственно.

- Значения контрастов электрооптических ячеек с полиамидом 6 и 66 при 150 циклах – 6 и 9 соответственно.

Вывод: различие в молекулярной структуре полиамидов существенно влияет как на величину свободной поверхностной энергии, так и на однородность ориентации СЖК при одинаковых условиях обработки поверхностей.

Influence of the molecular structure of polyamides on the orientation of smectic liquid crystals

Tkachenko T.P., Pozhidaev E.P., Zhukov A.A., Babaevsky P.G., Kuznetsov A.V.
MAI, Moscow, Russia

Increasing the operation frequency of display devices and energy saving standards require development of new materials. Ferroelectric liquid crystals (FLC) can be a solution of the problem. This work is devoted to the choice of a polymer aligning layers that provide a stable and uniform FLCs alignment.

The goal of this work is to study the effect of two types of aliphatic polyamides on their free surface energy and homogeneous alignment of FLCs.

The following tasks were solved:

- Molecular weights of polyamides were determined.
- Polyamides surface energies were measured.

- The effect of surface treatment of polyamide aligning layers on the uniformity of the FLCs structure was analyzed.

Objects of research: polyamide 6 and polyamide 66, dissolved in 85% formic acid and deposited by spin-coating on glass substrates with a conductive layer of indium and tin oxide (ITO). To impart anisotropy properties, polymer films were subjected to 50, 100, and 150 cycles of Batiste rubbing.

Research methods: the molecular weight was determined by viscometry. The polyamides surface free energy was measured using well-known Wendt-Owens method. To assess the homogeneity of the FLC alignment, electro-optical cells filled with a helix-free FLC-554 were used, and the contrast ratio of the maximum and minimum intensity of light passing through the cell was measured using a photomultiplier.

The following results were obtained:

- Viscosity average molecular weight of polyamide 6 and 66 is 11323 and 13564 u., respectively. The surface energies of polyamide films obtained from 0.6% and 1% solutions were 36 and 33.1 mJ/m² for polyamide 6, and 38.5 and 35.8 mJ/m² for polyamide 66.

- For polyamides 6 and 66 from 0.6% solutions, the energy along the rubbing direction at 150 cycles is 44.4 and 45.3 mJ/m², while perpendicular – 52.4 and 43.6 mJ/m².

• The contrast ratio values of electro-optical cells with polyamide 6 and 66 at 150 cycles are 6 and 9, respectively.

Conclusion: the difference in the molecular structure of polyamides significantly affects both the value of the free surface energy and the uniformity of the FLCs alignment under the same surface treatment conditions.

Определение минимального представительного объёма микроструктуры композита для моделирования испытаний на продольное растяжение

Турбин Н.В., Калущкий Н.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Стандартным подходом к испытаниям в области создания современной техники является т.н. «Пирамида образцов», где размерность и сложность отдельновзятых экспериментов выстроена в виде иерархической лестницы. Основание пирамиды составляют элементарные образцы материала. Учитывая гетерогенность состава композиционного материала, базовый уровень пирамиды испытаний может быть дополнен процедурами выявления свойств материала на микроуровне. Наиболее наглядно и практично требуемые величины микроуровня получаются в ходе моделирования методом конечного элемента (МКЭ), где по результатам расчета формируется картина напряженно-деформированного состояния (НДС) для определенной конфигурации нагрузок, также, как и форма разрушения виртуального образца материала. Практику ведения подобных расчетов часто называют «виртуальной лабораторией» или «виртуальными испытаниями».

Ввиду высокой вычислительной стоимости расчетов микроструктуры материала, распространена методика выделения части материала, или «представительного объема», с детализацией на микроуровне. Наиболее часто используют элемент внутри регулярной части материала (т.н. «ячейка»), в котором путем применения особых граничных условий, реализуется НДС, согласующийся с напряженно-деформированным состоянием регулярной части обобщенного материала. При этом окружающему материалу задаются свойства композитного слоя. Настоящее исследование описывает применение образца микроструктуры независимо от окружающего обобщенного материала. Такое применение предназначено получить такие минимально необходимые геометрические размеры представительного статистического объема материала, которые бы позволили использовать его в качестве полноценного образца для виртуальных испытаний.

Задача исследования решается на примере продольного растяжения ячейки, реализованной в форме куба с заданной стороной. Предполагается, что по достижении определенного размера куба, разрушающая нагрузка сходится к искомому значению. Конечно-элементная модель формулируется в решателе Abaqus/Explicit. Выбор динамического решателя призван облегчить решение проблемы со сходимостью результатов при моделировании разрушения. В свойства компонентов материалов матрицы, волокна и интерфейса вводятся параметры известных в настоящий момент моделей потери несущей способности.

Determination of the minimum adequate size of composite's microstructure representative volume for longitudinal tensile test simulations

Turbin N.V., Kalutskiy N.S.

MAI, Moscow, Russia

In development of contemporary technical projects the common nowadays strategy for testing of structures is so-called “Building block approach”, means that the size and complexity of the testing samples arises down-side up. The foundation of the samples pyramid is a coupon-level specimen. Taking into account the heterogeneous nature of composite material, this base of testing hierarchy may be complemented with obtaining properties of micro-level representatives of layer structure. Probably, the most comprehensive method in this field is a Finite Element Analysis (FEA), with which help the picture of stress-strain state after certain configuration of loads is easily received, as well as the resulting failure peculiarities. The practice of such simulations is generally referred as “Virtual laboratory” or “Virtual testing”.

Taking into the high computational cost of the microstructure level simulations, it is a common method to pick out a part of the material, a representative volume element (RVE), which has fine microstructural details. Here, most of the times the regular region particle is considered, and via special set of boundary conditions, RVE is loaded in such a way, that developed micro field stresses and strains do not interrupt the macro field in the surrounding material with homogenized layer properties. The present study exploits the microstructural volume independently of outer material and aims to determine the minimum necessary sizes of the RVE, that can be used as a complete testing sample in virtual laboratory.

The task is solved for exact case of longitudinal tension of RVE, which is geometrically comprises the cube. The failure load is thought to converge with enlargement of the cube side to a definite value. Finite element model is solved in Abaqus/Explicit, which alleviates the common difficulties with failure simulation in static solvers. The material models of the matrix, fibers and interface include suitable to exact constituent failure behavior.

Оценка кинетики докритического роста трещин в клеевом соединении с использованием модели когезионной зоны

Устинов А.А., Козлов Н.А., Салиенко Н.В., Бабаевский П.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время конструкционные полимерные клеи всё чаще применяются для соединения листовых конструкционных материалов в производстве и ремонте аэрокосмических конструкций, длительно работающих в жестких условиях. В отличие от механических, клеевые соединения обеспечивают существенный выигрыш в весе и герметичности конструкций. Однако, при длительной эксплуатации, особенно в условиях космического пространства, клеевые соединения на основе конструкционных клеёв склонны к разрушению вследствие критического или докритического роста дефектов (трещин) под воздействием внешних нагрузок. Это обуславливает необходимость в разработке методов эффективной оценки и прогнозирования несущей способности и долговечности конструкционных клеевых соединений.

Используемые для этого классические подходы ЛУМР применимы только в случаях простой геометрии конструкционных клеевых соединений и дефектов. Эта проблема решается разработкой численных методов моделирования инициирования и роста трещин в упруго-хрупких материалах с использованием метода конечных элементов и модели когезионной зоны, базирующейся на микромеханической модели предразрушения материала вблизи кончика трещины или любом месте концентрации напряжения, называемой когезионной зоной. При применении такого метода между двумя частями конечно-элементной твердотельной модели вводится связанный с ними тонкий промежуточный (когезионный) слой с отдельной сеткой специальных конечных (интерфейсных) элементов, механическое поведение которого подчиняется определённым закону - закону когезионной зоны. Такие модели требуют задания экспериментально определённых параметров когезионной зоны и проверки своей корректности на примере стандартных испытаний.

В работе предлагается методика оценки кинетики докритического подрастания трещины в образцах конструкционных клеевых соединений в виде двухконсольной балки при квазистатических условиях нагружения, создаваемых постоянным раскрытием трещины по моде I с использованием модели когезионной зоны, термофлуктуационной теории долговечности Журкова и экспериментально определённых параметров. В качестве объектов исследования использовались образцы клеевых соединений пластин алюминиевого сплава Д-16, соединённых эпоксидным клеем ВК-9. Расчёты произведены численным методом в пакете прикладных программ ANSYS.

Estimation of the kinetics of subcritical crack growth in an adhesive joint using a cohesive zone model

Ustinov A.A., Kozlov N.A., Salienco N.V., Babaevsky P.G.

MAI, Moscow, Russia

Currently, structural polymer adhesives are increasingly used for joining sheet structural materials in the production and repair of aerospace structures that work for a long time in harsh conditions. Unlike mechanical joints, adhesive joints provide a significant gain in weight and tightness of structures. However, during long-term operation, especially in outer space, adhesive joints based on structural adhesives are prone to destruction due to critical or subcritical growth of defects (cracks) under the influence of external loads. This makes it necessary to develop methods for effectively evaluating and predicting the load-bearing capacity and durability of structural adhesive joints.

The classical LEM approaches used for this purpose are applicable only in cases of simple geometry of structural adhesive joints and defects. This problem is solved by developing numerical methods for modeling crack initiation and growth in elastic-brittle materials using the finite element method and a cohesive zone model based on a micromechanical model of pre-fracture of the material near the tip of the crack or any place of stress concentration, called the cohesive zone. When using this method, a thin intermediate (cohesive) layer with a separate grid of special finite (interface) elements is introduced between two parts of a finite-element solid - state model, the mechanical behavior of which obeys a certain law-the law of the cohesive zone. Such models require setting experimentally determined parameters of the cohesive zone and verifying their correctness using standard tests as an example.

The paper proposes a method for evaluating the kinetics of subcritical crack growth in samples of structural adhesive joints in the form of a two-console beam under quasi-static loading conditions created by constant crack opening in mode I using the cohesive zone model, the Zhurkov thermal fluctuation theory of durability, and experimentally determined parameters. As objects of research, samples of adhesive joints of aluminum alloy D-16 plates connected by VK-9 epoxy adhesive were used. The calculations were performed numerically in the ANSYS application software package.

Особенности распространения волн Лэмба, возбуждаемых угловым клиновым актуатором в ортотропной пластине из углепластика

Чебаненко В.А., Калинин В.В., Шевцов С.Н., Юдин А.В.

ЮИЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия

Широкое распространение полимерных композитов, армированных стекловолокном и углепластиком, в авиационной, автомобильной и судостроительной промышленности требует надежных, экономически эффективных и простых в использовании средств для мониторинга состояния конструкций и неразрушающего контроля для производства качественной и бездефектной продукции.

Это исследование мотивировано целью разработки усовершенствованной методики неразрушающего контроля и мониторинга состояния конструкций несущих композитных конструкций, которые обычно имеют ортотропную структурную симметрию, с использованием волн Лэмба, генерируемых установленным на поверхности пьезоэлектрическим преобразователем. Волны Лэмба используются в активных системах мониторинга состояния конструкций, потому что они могут распространяться на большие расстояния в тонкостенных композитных деталях, напрямую взаимодействовать с потенциальными дефектами, что позволяет оценивать состояние и надежность современных самолетов, вертолетов и других машин. Наиболее интересными преимуществами использования направленных волн Лэмба являются их способности обнаруживать такие дефекты в композитах, как расслоение, включения, пористость, нежелательные локальные изменения механических свойств материала, а иногда и возможность контролировать направленность волн, то есть управление лучом.

Целью данной работы является выявление возможности генерации направленных акустических волн с помощью углового клинового актуатора в тонкостенных конструкциях

из высокоанизотропного материала. В качестве объектов нашего исследования мы использовали ортотропную панель из углепластика и клиновой актуатор Olympus V414-SB-ABWS, который был смоделирован и экспериментально исследован. Проведён дисперсионный анализ возбуждаемых волн. Используя экспериментально проверенные функции частотной характеристики для амплитуд смещения и потребления электрического тока актуатором, мы выбрали частоты тестирования. Направленность возбужденной антисимметричной волны Лэмба A0 изучалась при различной ориентации актуатора относительно главной оси ортотропного материала. Анализ полученных диаграмм направленности вместе с распределением радиального напряжения сдвига на границе раздела продемонстрировал их взаимозависимость. Все полученные результаты и разработанная методика призваны уточнить возможности углового клинового привода при его использовании для мониторинга состояния конструкций ортотропных композиционных материалов.

Characteristics of propagation of Lamb waves excited by an angular wedge actuator in an orthotropic CFRP plate

Chebanenko V.A., Kalinchuk V.V., Shevtsov S.N., Yudin A.V.

SSC RAS, Rostov-on-Don, Russia

The widespread use of fiberglass and CFRP-reinforced polymer composites in the aviation, automotive and shipbuilding industries requires reliable, cost-effective and easy-to-use structural monitoring and non-destructive testing tools to produce high-quality, defect-free products.

This study is motivated by the goal of developing an improved technique for non-destructive testing and structural monitoring of load-bearing composite structures, which usually have orthotropic symmetry, using Lamb waves generated by a surface-mounted piezoelectric transducer. Lamb waves are used in active systems for monitoring the condition of structures, because they can propagate over long distances in thin-walled composite parts, interact directly with potential defects, which makes it possible to assess the condition and reliability of modern aircraft, helicopters and other machines. The most interesting advantages of using directed Lamb waves are their ability to detect such defects in composites as delamination, inclusions, porosity, unwanted local changes in the mechanical properties of the material, and sometimes the ability to control the direction of the waves, that is, ray control.

The purpose of this work is to identify the possibility of generating directed acoustic waves using an angular wedge actuator in thin-walled structures made of highly anisotropic material. As objects of our research, we used an orthotropic panel made of carbon fiber reinforced plastic and an Olympus V414-SB-ABWS wedge actuator, which was modeled and experimentally investigated. A dispersive analysis of the excited waves has been carried out. Using experimentally verified frequency response functions for the displacement amplitudes and current consumption of the actuator, we selected the test frequencies. The directivity of the excited antisymmetric Lamb wave A0 was studied for different orientations of the actuator relative to the main axis of the orthotropic material. An analysis of the obtained radiation patterns together with the distribution of the radial shear stress at the interface demonstrated their interdependence. All the results obtained and the developed technique are intended to clarify the capabilities of the angular wedge actuator when using it for structural monitoring of orthotropic composite materials.

Волоконная технология в производстве изделий аэрокосмического назначения из ПКМ

Червяков А.А., Салиенко Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

При производстве термопластичных полимерных композиционных материалов (ПКМ) для авиакосмического применения определенные преимущества имеет волоконная технология. Сущность волоконной технологии заключается в приближении к поверхности наполнителя связующего в виде волокон, чтобы при последующем переводе матричного термопласта в вязкотекучее состояние при формировании изделий из термопластичных ПКМ протяженность течения расплава была минимальной.

В качестве упрочняющих волокон в волокнистых полуфабрикатах (нитях, жгутах, лентах, тканях) используют волокна, традиционно используемые в производстве терморезистивных ПКМ и изделий из них (стеклянные, углеродные, органические). Состав, текстура и способ производства полуфабрикатов определяются методом его переработки и комплексом эксплуатационных требований к материалу изделия.

Требование волоконной технологии строго регулировать параметры полуфабрикатов в целях получения ПКМ с заданными свойствами наиболее полно реализуется в тканых полуфабрикатах (ТП). При этом возможно расчетное регулирование ТП с определением диаметра и схемы чередования армирующих и матричных волокон. Методом математического регулирования установлены количественные зависимости между качеством ПКМ и параметрами состава и структуры ТП. Получены ПКМ марок ПАП-Ф и ПАП-СВМ (пластики армированные полиамидные, с фенилоновыми и СВМ-волокнами, соответственно) с заданными свойствами. Технологические параметры получения пластика ПАП-Ф: $T = 250^{\circ}\text{C}$, $p = 1,0 \text{ МПа}$, $t_{пр} = 5-7 \text{ мин/мм}$ толщины; ПАП-СВМ: $T = 250^{\circ}\text{C}$, $p = 1,0 \text{ МПа}$, $t_{пр} = 5-10 \text{ мин/мм}$ толщины. Пористость пластиков не превышает 3%. Значения прочности при растяжении в направлении укладки армирующих волокон пластика ПАП-Ф на основе различных вариантов полуфабрикатов изменяются от 126 до 304 МПа, модуль упругости при растяжении – от 5449 до 8450 МПа. Для пластика ПАП-СВМ значения прочности от 793 до 806 МПа, модуля упругости – от 45000 до 45800 МПа.

Fiber technology in the production of articles for aerospace applications from thermoplastic PCMs

Chervyakov A.A., Salienco N.V.
MAI, Moscow, Russia

In the production of thermoplastic polymer composite materials (PCM) for aerospace applications, fiber technology has certain advantages. The essence of the fiber technology lies in the approach to the filler surface of the binder in the form of fibers, so that during the subsequent transfer of the matrix thermoplastic to a viscous-flow state during the molding of articles from thermoplastic PCMs, the length of the melt flow is minimal.

The fibers traditionally used in the production of thermosetting PCMs and products made from them (glass, carbon, organic) are used as reinforcing fibers in semi-finished fibrous products (threads, ropes, ribbons, fabrics). The composition, texture and method of production of semi-finished products are determined by the method of processing and a set of operational requirements for the material of the product.

The requirement of fiber technology to strictly regulate the parameters of semi-finished products in order to obtain PCMs with desired properties is most fully realized in woven semi-finished products (TP). In this case, the calculated regulation of the TP is possible with the determination of the diameter and the alternation pattern of the reinforcing and matrix fibers. The method of mathematical regulation established quantitative relationships between the quality of PCM and the parameters of the composition and structure of TP. PCM grades PAP-F and PAP-SVM (reinforced polyamide plastics with phenylene and SVM fibers, respectively) with the desired properties have been obtained. Technological parameters for obtaining PAP-F plastic: $T = 250^{\circ}\text{C}$, $p = 1.0 \text{ МПа}$, $t_{пр} = 5-7 \text{ min / mm}$ of thickness; PAP-SVM: $T = 250^{\circ}\text{C}$, $p = 1.0 \text{ МПа}$, $t_{пр} = 5-10 \text{ min / mm}$ of thickness. The porosity of plastics does not exceed 3%. The values of the tensile strength in the direction of laying the reinforcing fibers of the PAP-F plastic based on various TOPAF variants vary from 126 to 304 МПа, the tensile modulus from 5449 to 8450 МПа. For PAP-SVM plastic, the strength values are from 793 to 806 МПа, and the elastic modulus is from 45000 to 45800 МПа.

Оптимизация литниковой системы для расположения линий сная вдали от нагруженной зоны конструкций из короткоармированных композитов

Чертыховцева В.О., Куркин Е.И., Лукьянов О.Е., Эспиноса Б.О.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Расположение литниковой системы оказывает существенное влияние на механические характеристики изделий, изготавливаемых методом литья под давлением. К литниковым

системам предъявляются требования, выполнение которых обеспечивает сбалансированный процесс заполнения и позволяет достичь равномерного распределения давления и температуры, что позволяет существенно уменьшить деформацию детали. Композиционные материалы, армированные короткими волокнами, успешно применяются в случаях, когда форму изделия трудно получить из многослойных композитов, или в случаях, когда нагрузки прикладываются таким образом, что композиты сталкиваются с проблемой расслаивания. Проушины являются типичными элементами конструкций, содержащими концентраторы напряжений и передающими большие сосредоточенные нагрузки переменного направления. Литье проушин связано с обтеканием их оси, что приводит к образованию линий спая. Выбор оптимального расположения литников позволяет контролировать положение линии спая и обеспечивать ее расположение в наименее нагруженной зоне проушины.

Целью данной работы является разработка алгоритма поиска оптимального расположения литников на примере литья проушин для обеспечения максимального удаления линии спая от зон концентрации напряжений. Рассмотрена проушина длиной 67 мм, внешним диаметром 24 мм и диаметром отверстия 12 мм, нагруженная силой, изменяемой в направлении от 0° до 60° . В качестве материала выбран полиамид PA6, армированный 30% короткими углеродными волокнами: Akro-Plastic GmbH Akromid B3 ICF 30. Слабым местом проушины является линия спая, которая неизбежно возникает при обтекании отверстий проушин при их изготовлении путем литья из коротких армированных композитных материалов. Расположение линии спая определяется расположением литника. Найдено оптимальное расположение литника, при котором линия спая располагается как можно дальше от зоны расположения максимального эквивалентного напряжения. Задача оптимизации решена с помощью метода золотого сечения. Данный метод позволил привести обратную задачу к последовательному решению десяти прямых задач, решаемых с помощью Autodesk Moldflow в пакетном режиме, управляемом кодом Matlab через Synergy API.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-79-10205.

Molding gate optimization for weld line location away from sort-fiber composite structures loaded area

Chertykovtseva V.O., Kurkin E.I., Lukyanov O.E., Espinosa B.O.
Samara University, Samara, Russia

The gate location influences on the mechanical characteristics of the injection molded products. Gates are subject to requirements that ensure a balanced filling process and achieve a uniform distribution of pressure and temperature, which allows to significantly reduce deformation of the part. It is urgent to solve the problem of design automation of the gate, taking into account the requirements of stiffness and strength of manufactured products. Composites reinforced by short fibers find application in cases where the shape of the product is difficult to make from multi-layer composites, or in cases where loads are applied in such a way that these composites encounter a delamination problem. Lugs are a typical structural element containing stress concentrators and transmitting large concentrated loads of variable direction. Molding of lugs is associated with the flow around the axis of lug, which leads to the formation of a weld lines. The choice of the optimal location of gates allows to control the weld line location and ensure that it is located in the least loaded area of the lug.

The purpose of this work is to develop an algorithm for searching the optimal location of gates at lugs molding to ensure maximum removal of the weld line from stress concentration areas. Lug with length 67 mm, outer diameter 24 mm, hole diameter 12 mm was considered. Consider a lug loaded with changing between 0° and 60° direction force. Lug mold from PA6 reinforced with 30% short carbon fibers Akro-Plastic GmbH Akromid B3 ICF 30 black thermoplastic composite material. Weld line that inevitably occur during the flow around the holes of the lugs in their production by molding from short reinforced composite materials is the weak spot of lug. The weld line location is determined by the gate location. We find the optimal gate location to set weld line

as far as possible from the area of maximum equivalent stress location. The Golden-Section search method allowed leading the inverse problem to the sequential solution of ten direct problems solvable using of Autodesk Moldflow in batch mode controlled by Matlab code through Synergy API.

The reported study was funded by Russian Science Foundation according to the research project N. 19-79-10205.

Технологии производства высокотемпературного композитного крепежа для авиационной и ракетно-космической техники

¹Чесноков А.В., ²Тимофеев И.А., ¹Старцев В.А., ¹Андреев В.Н.

¹Технологический университет", ²АО Композит, г. Королёв, Россия

В последнее десятилетие резко увеличилось применение композиционных материалов в авиационной и ракетно-космической технике, растет потребность в качественном легком крепеже. Значительная часть крепежа применяется в не силовых узлах, для крепления вспомогательного оборудования, кабель-каналов и др. Для изготовления не силового крепежа рационально применить армированные суперконструкционные термопласты, которые на 55% легче титана, могут эксплуатироваться при температурах более 200 С в условиях воздействия факторов космического пространства. Растут требования к термонагруженным узлам и применяемому углеродному крепежу, остро стоит задача снижения стоимости крепежа, работающего при температурах более 1000 С.

В Технологическом университете реализована технология термотрансферного литья под давлением высокотемпературного легкого крепежа из суперконструкционных термопластов, таких как: стекло-наполненный (40%) полифениленсульфид; угле-наполненный (40%) полиэфирэфиркетон; базальто-наполненный (40%) полиэфиримид. Работы проводились на термопластавтоматах: вертикальном Shanghai Langle Machinery Co.; горизонтальном Arburg и Babyplast. Изготовлены пресс-формы и проведена отработка процесса литья под давлением, определены физико-механических характеристик, проведен анализ микроструктуры. На имеющихся прессформах изготавливаются болты М8×60, М6×60; шпильки М8×80, М6×80, М5×60, М4×60, М3×60, М2,5×30; заготовки для гаек М5; М4; М3; М2,5. Разработаны и введены Технические условия на крепежные детали и соединения из полимерного композиционного материала. Ведутся исследования по разработке технологии изготовления крепежа из суперконструкционных термопластов, армированных длинными волокнами, что должно обеспечить двукратное повышение прочности.

Для изготовления высокотемпературного крепежа в зарубежных литературных источниках все чаще упоминается применение плетеных преформ. Для изготовления сплошных преформ модернизирована диагональная плетельная установка ДП50-1-130 с пятью рядами по пять крылаток (5×5). Разработаны новые траектории движения веретен. Количество оплеточных веретен увеличено до 40. Дополнительно преформы армируются 25 осевыми жгутами. Что позволило вдвое повысить сечение получаемых преформ.

Разработан и изготовлен прототип роторной плетельной установки. Роторная технология на данный момент является самой производительной из известных способов получения сплошных преформ. Разработано программное и аппаратное обеспечение управления установкой.

Technologies for the production of high-temperature composite fasteners for aviation and rocket and space technology

¹Chesnokov A.V., ²Timofeev I.A., ¹Startsev V.A., ¹Andreev V.N.

¹UniTech, ²JSC "Kompozit", Korolev, Russia

In the last decade, the use of composite materials in aviation and rocket and space technology has sharply increased, and the need for high-quality lightweight fasteners is growing. A significant part of fasteners is used in non-power nodes, for fastening auxiliary equipment, cable channels, etc. space. Requirements for thermally loaded assemblies and applied carbon fasteners are growing, and

there is an acute problem of reducing the cost of fasteners operating at temperatures above 1000 °C.

The Technological University has implemented the technology of thermal transfer injection molding of high-temperature lightweight fasteners made of super-structural thermoplastics, such as: glass-filled (40%) polyphenylene sulfide (PPS); carbon-filled (40%) polyetheretherketone (PEEK); polyetherimide (PEI), as well as a composition based on it, reinforced with basalt fibers (40%). The work was carried out on injection molding machines: vertical Shanghai Langle Machinery Co.; horizontal Arburg and Babyplast. Molds were manufactured and the injection molding process was tested, the physical and mechanical characteristics were determined, and the microstructure was analyzed. Bolts M8×60, M6×60 are made on the available molds; studs M8×80, M6×80, M5×60, M4×60, M3×60, M2.5×30; blanks for M5 nuts; M4; M3; M2.5. Technical conditions for fasteners and connections made of polymer composite material were developed and introduced. Research is underway to develop a technology for manufacturing fasteners from superconstructive thermoplastics reinforced with long fibers, which should provide a twofold increase in strength.

For the manufacture of high-temperature fasteners in foreign literary sources, the use of braided preforms is increasingly mentioned. For the production of solid preforms, the DP50-1-130 diagonal braiding unit with five rows of five impellers (5×5) was modernized. New spindle trajectories have been developed. The number of braiding spindles has been increased to 40. Additionally, preforms are reinforced with 25 axial bundles. This made it possible to double the cross-section of the resulting forms.

A prototype of a rotary braiding unit was developed and manufactured. Rotary technology is currently the most productive of the known methods for producing solid preforms. The software and hardware for plant control has been developed.

Влияние размеров плоских актюаторных пластин из углекомпозиата с эффектом памяти формы на их усилие, время и степень восстановления формы

Шаров К.И., Агапов И.Г., Козлов Н.А., Слюсарев А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Углекомпозиаты с эффектом памяти формы (ЭПФ) используются для изготовления актюаторных пластин, являющихся силовыми элементами актюаторов, служащих для разворачивания космической конструкции из транспортного состояния в развернутое рабочее.

Принцип действия актюаторной пластины заключается в восстановлении своей формы при нагреве, при этом важными характеристиками являются усилие, время и степень восстановления формы.

Цель работы заключалась в изготовлении плоских актюаторных пластин (далее – пластин) из углекомпозиатов ЭПФ со встроенным резистивным нагревателем и оценке их усилия, времени и степени восстановления формы в зависимости от размеров пластин.

Пластины 70×70, 140×70, 210×70 мм с толщиной, варьируемой от 1,4 до 2,1 мм, изготовленные методом прессования, представляли собой слоистые углекомпозиаты на основе углеродной ткани марки Урал Т-1-22А и полимерной модифицированной матрицы с ЭПФ с резистивным нагревателем между слоями.

Для оценки усилия, времени и степени восстановления формы изготовленных пластин им придавали U-образную форму с использованием специальной оснастки, предварительно нагревая их до температуры выше температуры стеклования полимерной матрицы углекомпозиатов. Для фиксации U-образной формы пластины охлаждали до температуры ниже температуры стеклования полимерной матрицы.

Усилие восстановления формы пластин определяли по методике с использованием испытательной машины WDW-10E на пластинах в заневоленном состоянии. В результате испытаний получали зависимость усилия восстановления от времени, по максимуму на которой оценивали усилие восстановления формы пластин.

Для оценки времени и степени восстановления формы пластин использовали обработанные в виде временной зависимости результаты видеосъемки процесса

восстановления их формы в свободном состоянии. Количественным критерием восстановления формы пластин являлся «угол восстановления» – угол между прямыми участками U-образно сложенной пластины. Степень восстановления формы пластины рассчитывали, как отношение этого угла в процессе восстановления формы к исходному углу, равному 180°. За время и степень восстановления формы пластин принимали равновесные значения этих величин.

Оценка усилия, времени и степени восстановления формы изготовленных пластин показала, что с увеличением размеров пластин их усилие восстановления формы увеличивается от 3,9Н до 20Н, время восстановления также увеличивается от 110с до 255с, а степень восстановления формы напротив уменьшается от 99% до 98%.

Influence of the size of flat actuator plates made of a shape memory carbon composite on their force, time and degree of shape recovery

Sharov K.I., Agapov I.G., Kozlov N.A., Slusarev A.A.

MAI, Moscow, Russia

Carbon composites with shape memory effect (SME) used for the manufacture of actuator plates, which are the power elements of the actuators, which serve to deploy the space structure from the transport state to the deployed state.

The principle of operation of an actuator plate is to recovery its shape when heated. The most important characteristics are the force, time and degree of shape recovery. Point of the work was to manufacture flat actuator plates (hereinafter referred to as plates) from SME carbon composites with a built-in resistive heater and assessed their force, time and degree of shape recovery depending on their dimensions.

Plates 70×70, 140×70, 210×70 mm with a thickness varying from 1.4 to 2.1 mm, manufactured by pressing, were layered carbon composites based on Ural T-1-22A carbon fabric and a polymer modified matrix with SME with resistive heater between the layers.

To assess the force, time, degree of recovery of the shape of the manufactured plates, they given a U-shape using special equipment, preheating them to a temperature above the glass transition temperature of the polymer matrix of carbon composites. To fix the U-shape, the plates cooled to a temperature below the glass transition temperature of the polymer matrix.

The recovery force of the plates was determined according to the method using the testing machine WDW-10E on the plates in the constrained state. As result of the tests, a dependence of the recovery force on time obtained, at which the maximum recovery force of the plates assessed.

To assess the time and degree of recovery of the plates, we used the results of video filming of the process of recovery of their shape in a free state processed in the form of a time dependence. The quantitative criterion for recovering the shape of the plates was the "recovery angle" – the angle between the straight sections of the U-shaped folded plate. The degree of recovery of the shape of the plate calculated as the ratio of this angle during recovery of the shape to the initial angle equal to 180°. The equilibrium values of these quantities taken for the time and degree of recovery of the shape of the plates.

Assessment of the force, time and degree of shape recovery of the manufactured plates showed that with an increase in the size of the plates, their shape recovery force increases from 3.9 N to 20 N, the recovery time increases from 110s to 255s, and the degree of shape recovery decreases from 99% to 98%.

Использование метода когезионной зоны для анализа трещиностойкости ПКМ при нагружении по моде II

Шаталин А.А., Ленский А.Е., Бабаевский П.Г., Салиенко Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Развитие и совершенствование современной авиационной и ракетно-космической техники возможно только при широком применении конструкций из слоистых полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе высококачественных терморезистивных и термопластичных матриц и армирующих элементов, в первую очередь углеродных и стеклянных тканей, лент или жгутов. При всех своих плюсах полимерные композиционные

материалы имеют один очень существенный недостаток – низкую межслоевую трещиностойкость. Оценка и прогнозирование устойчивости ПКМ к образованию и развитию зарождающихся и существующих трещин является ключевой задачей для повышения надежности и качества изделий из них.

В настоящее время достаточно сложно корректно определить параметры трещиностойкости ПКМ, используя классические методы макро и микромеханики трещин, из-за сложности конфигураций дефектов и исследуемых объектов. Одним из эффективных путей решения проблемы корректного определения параметров трещиностойкости ПКМ является сочетание подходов линейной упругой механика разрушения и численных методов, таких как метод конечных элементов (МКЭ). В основе этого сочетания лежит использование представлений о развитии в месте концентрации напряжений зоны локального хрупкого предразрушения, которое называется когезионной зоной (КЗ). Поведение КЗ определяется зависимостью локального напряжения от деформации в зоне, называемой законом когезионной зоны (ЗКЗ). Для расчёта условий инициирования и роста существующих и возникающих в местах концентрации напряжений трещин имплантируют модель КЗ (МКЗ) в численный МКЭ, при известном или заданном ЗКЗ.

Цель данной работы – разработка и исследование численной 3D-модели расслоения образцов из слоистого ПКМ при нагружении моде II в программном комплексе ANSYS. В модели использованы экспериментально полученные параметры КЗ. При численном моделировании расслоения образца применена методика выбора оптимального количества и размера конечных когезионных элементов (ККЭ) по экспериментально определенной длине КЗ в соответствие с микромеханической моделью Баренблатта для стекла и углекомполитов на основе препрегов КМКС и КМКУ. Получены достоверные результаты при допустимом объёме вычислений. Установлены закономерности влияния природы армирующего волокнистого наполнителя на длину когезионной зоны и трещиностойкость для стеклокомполитов и углекомполитов.

Using the cohesive zone method for analyzing the PCM crack resistance under mode II loading

Shtalin A.A., Lensky A.E., Babaevsky P.G., Salienko N.V.
MAI, Moscow, Russia

The development and improvement of modern aviation and rocket and space technology is possible only with the widespread use of structures made of layered polymer composite materials (PCM) based on high-quality thermosetting and thermoplastic matrices and reinforcing elements, primarily carbon and glass fabrics, tapes or bundles. For all their advantages polymer composite materials have one very significant drawback – low interlayer crack resistance. Assessing and predicting the stability of PCM to the formation and development of incipient and existing cracks is a key task for improving the reliability and quality of products made from them.

Currently, it is quite difficult to correctly determine the parameters of the PCM crack resistance using classical methods of macro and micromechanics of cracks, due to the complexity of the configurations of defects and objects under study. One of the effective ways to solve the problem of correctly determining the parameters of PCM crack resistance is to combine the approaches of linear elastic fracture mechanics and numerical methods, such as the finite element method (FEM). This combination is based on the use of ideas about the development of a local brittle pre-fracture zone at the stress concentration site, which is called the cohesive zone (CZ). The behavior of the short-circuit is determined by the dependence of the local stress on the strain in the zone, called the law of the cohesive zone (zkz). To calculate the conditions for the initiation and growth of existing and emerging cracks in places of stress concentration, a short-circuit model (MCP) is implanted in a numerical FEM, for a known or given zcz.

The purpose of this work is to develop and study a numerical 3D model of stratification of samples from layered PCM under mode II loading in the ANSYS software package. The model uses experimentally obtained short-circuit parameters. Numerical modeling of the sample stratification is based on the method of selecting the optimal number and size of finite cohesive

elements (CSE) over the experimentally determined length of the short-circuit in accordance with the Barenblatt micromechanical Model for glass and carbon composites based on CMCS and CMC prepreps. Reliable results were obtained for the allowable amount of calculations. The regularities of the influence of the nature of the reinforcing fiber filler on the length of the cohesive zone and crack resistance for glass and carbon composites are established.

Разработка автоматизированной технологии изготовления трубчатых трансформируемых элементов из термопластичных композиционных материалов

Ювшин А.М.

ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия

Трансформируемые конструкции – это вид изделий, состоящих из трансформируемых элементов, которые могут изменять свою конфигурацию в автономном режиме. Изменение конфигурации представляет собой переход от компактной формы к развернутой. Трансформируемые конструкции нашли свое широкое применение в составе малых спутниковых аппаратов (СА) в качестве несущих конструкций солнечных батарей, парусов, систем ориентации спутника, антенн, рефлекторов и других инструментов, работающих за пределами СА, а также в качестве наземных конструкций антенн связи. Трансформируемые конструкции изначально изготавливались из магниевых и бериллиевых сплавов, но в следствие современных тенденций по снижению себестоимости запуска СА на околоземную орбиту, увеличение срока службы СА и переход к малым и сверхмалым СА. Трансформируемые конструкции их элементы начали изготавливать из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Современные трансформируемые конструкции и элементы изготавливают в большей степени из термореактивного ПКМ. Несмотря на это, до сих пор существуют проблемы с разработкой и изготовлением трансформируемых конструкций и элементов из ПКМ. Процесс изготовления которых является полностью ручным и трудоемким, а также существует недостаточность практического и теоретического материала, объясняющего механизмы трансформации и их взаимосвязи с технологическими режимами изготовления.

В работе приведена классификация современных трансформируемых конструкций и элементов, разработана автоматизированная технология изготовления трансформируемого трубчатого элемента из термопластичного ПКМ и исследуется зависимость трансформируемости (способности элемента переходить из одной формы в другую без существенной потери геометрических размеров) от технологических режимов изготовления.

Development of automated technology for the manufacture of tubular deployable elements from thermoplastic composite materials

Iuvshin A.M.

ITMO, Saint-Petersburg, Russia

Deployable structures are type of products consisting of transformable elements that can change their configuration offline. The change in configuration represents a transition from compact to expanded form. Deployable structures are used as part of small satellite vehicles (SV) as load-bearing structures for solar batteries, sails, satellite orientation systems, antennas, reflectors and other instruments operating outside the satellite, as well as ground structures for communication antennas. Deployable structures were originally made of magnesium and beryllium alloys, but as a result of modern trends in reducing the cost of launching spacecraft into near-earth orbit, increasing the spacecraft's service life and switching to small and ultra-small spacecraft. Deployable structures and their elements began to be made of polymer composite materials (PCM). Modern Deployable structures and elements are made mostly of thermosetting PCM. Despite this, there are still problems with the development and manufacture of transformable structures and elements from PCM. The manufacturing process of which is completely manual and laborious, and there is also a lack of practical and theoretical material explaining the mechanisms of transformation and their relationship with the technological modes of manufacturing.

The paper provides a classification of modern deployable structures and elements, developed an automated technology for manufacturing a deployable tubular element from a thermoplastic PCM,

and investigates the dependence of transformability (the ability of an element to change from one form to another without significant loss of geometric dimensions) on the operating practices of production.

This paper studies deployable elements which are used in satellites and different terrestrial antenna devices. The aim of the article is develop automated technology for manufacturing a deployable tubular element from a thermoplastic PCM, and investigates the dependence of transformability on the operating practices of production.

9. Экономика и менеджмент предприятий аэрокосмического комплекса

9. Economics and Management at Enterprises of Aerospace Complex

Развитие управленческих решений в бизнес модели управления компании аэрокосмического комплекса

Агеева Н.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Повышение значимости исследований по развитию бизнес модели управления связано с изменением среды, появлением новых технологий передачи, хранения и обработки информации, а также интенсификацией инновационных процессов в сфере управления высокотехнологичными компаниями. Адаптация к ним в сфере технологий управления способна обеспечить развитие подходов, интегрирующих в себе лучшие достижения менеджмента и цифровых технологий. Сложившаяся в настоящее время интерпретация направлений исследования бизнес модели управления компанией в целом пока не сформировалась как целостная концепция. Отдельные исследования включают локальные факторы, как реакции на изменения в рыночной среде, информационных технологиях.

Цель публикации - расширить концепцию разработки системы факторов, влияющих на бизнес модель управления компанией для повышения эффективности управленческих решений по жизненному циклу создания изделий авиационной техники.

Задачи заключается в прояснении и детализации структурных составляющих бизнес модели управления с учетом возрастающей неопределенности внешней среды, развития цифровых технологий, а также управленческих решений к их использованию в компании. Результатом должно стать выявление составляющих бизнес модели управления в условиях развития цифровых технологий, включая практику организации и реализации инновационных моделей, а также создание основы для дальнейшего изучения данной темы.

Научная новизна исследования заключается в формировании целостной системы оригинальных по содержанию управленческих этапов и оценок, используемых при разработке бизнес модели управления.

Концептуальная модель исследования включает следующие движущие направления совершенствования бизнес модели управления с учетом высокотехнологичного уровня изделий авиационной техники:

- Стратегические приоритеты неопределенности в изменении внешней среды, рынка.
- Оценка влияния цифровых технологий на развитие бизнес модели.
- Стратегические ресурсы комплекса сетевых связей компании.
- Другие.

Описание процессов изменения в моделях управления требует формирования не только структурных составляющих в бизнес модели, но и оценки предпосылок взаимосвязи между этими элементами. При этом возможные варианты взаимосвязи этих предпосылок дают набор методов оценки, каждый из которых имеет свои особенности и назначение. Следовательно, использование такого подхода дает возможность получить значительный спектр методов оценки, необходимых для бизнес модели управления компаний.

Development of management solutions in the business management model of an aerospace company

Ageeva N.G.

MAI, Moscow, Russia

Relevance of research the development of business management models is due to the change of environment, new technologies of communication, storage and processing of information, the

intensification of innovative processes in the management of high-tech companies. Adaptation to them can ensure the development of approaches that integrate the best achievements of management and digital technologies. The current interpretation of the study of the business model of company management has not yet been formed as a complete concept. Research includes local factors such as reactions to changes in the market environment and information technologies.

The purpose of the publication is to expand the concept of developing a system of factors that affect the business model of management to improve the efficiency of management decisions on the life cycle of creating aircraft products.

The task is to clarify and detail the structure of the business model of management, taking into account the increasing uncertainty of the external environment. The result will be the identification of the components of the business model of management in the context of digital technology development, including the practice of organizing and implementing innovative models. The scientific novelty of the research is the formation of a complete system of original content management stages and assessments used in the development of the business model of management.

The conceptual model of the study includes the following driving directions for improving the business model of management taking into account the high tech level of aircraft products:

- Strategic priorities of uncertainty in changes in the external environment, market.
- Assessment of the impact of digital technologies on the development of the business model.
- Strategic resources of the company's network communications complex.
- Other.

Describing the processes of change in management models requires the formation of not only structural components in the business model, but also an assessment of the prerequisites for the relationship between these elements. At the same time, possible variants of the relationship between these prerequisites provide a set of assessment methods, each of which has its own characteristics and purpose. Therefore, using this approach makes it possible to obtain a significant range of assessment methods necessary for the business model of company management.

Цифровая трансформация: основные тенденции и влияние на систему управления персоналом предприятия

¹Акимов А.А., ²Тихонов А.И.
¹РКК «Энергия», г. Королёв, Россия
²МАИ, г. Москва, Россия

Бурно развивающаяся цифровая экономика стремительно меняет современные модели ведения бизнеса и требует от руководства компаний перестройки всех бизнес-процессов для достижения конкурентоспособности в текущей и в долгосрочной перспективе.

Цифровую трансформацию мы понимаем как глубокое преобразование продуктов и услуг, а также структуры организации, ее стратегии развития и корпоративной культуры.

Безусловно, в самом центре успешной цифровой трансформации стоит человек, так как цифровая трансформация это в первую очередь переосмысление способов организации работы сотрудников для их эффективного взаимодействия с клиентами за счёт использования современных технологий и анализа данных.

Подразделение HR предприятия играет в процессе цифровой трансформации одну из ведущих ролей, ведь знание о том, какие ресурсы доступны бизнесу и как организовать их под конкретную задачу, становится важнейшим фактором конкурентоспособности.

Ключевая задача HR в процессе трансформации бизнеса - это создание новой корпоративной культуры, формирование новых ценностей, которые выражаются в профессиональных и личностных качествах, необходимых сотрудникам в новых условиях работы бизнеса.

В управлении человеческими ресурсами возникает понятие HR диджитализации: компания трансформирует модель ведения бизнеса, меняя продуктовую направленность на технологическую. Рынок технологий и инструментов в HR растет и будет расти в будущем, причем в двух направлениях, захватывая новые области применения внутри HR, начиная от

рекрутинга и заканчивая аналитикой, и повышая производительность в отмеченных «диджитализацией» сферах деятельности менеджеров.

Цифровая экономика – это среда, которая будет формироваться не один год и потребует привлечения компетенций огромного количества высокопрофессиональных специалистов. Поэтому задачей сегодняшнего HR-специалиста является задача подготовки сотрудников к трансформации профессий и компетенций в будущем. Вместе с компаниями предстоит измениться и самим HR-специалистам, способным осуществлять найм, подготовку и обучение персонала в цифровой экономической реальности.

Полезьа цифровой трансформации для бизнеса невероятно высока: это и более легкое управление ресурсами, и доступ к большему количеству информации о клиентах, рост гибкости и привлечение инноваций, выход на новый уровень прозрачности, расширение прав и возможностей сотрудников, формирование цифровой культуры.

Digital transformation: basic trends and influence on the enterprise human resources management system

¹Akimov A.A., ²Tikhonov A.I.

¹RSC “Energia”, Korolev, Russia

²MAI, Moscow, Russia

The booming digital economy is rapidly changing modern business models and requires company management to restructure all business processes to achieve competitiveness in both the current and long term.

Digital transformation is a profound transformation of products and services, organization structure, development strategy, customer service and corporate culture. At the center of a successful digital transformation strategy is a human, and digital transformation is also a rethink of how employees can organize their work to interact effectively with customers through the use of modern technology and data analysis.

The HR structure of the enterprise plays one of the leading roles in the digital transformation process, because knowing which resources are available to the business, where to get it and how to organize it for a specific task, can be a key factor in competitiveness. The main task of HR in the process of business transformation is to create a new corporate culture, to create new values, which are expressed in the competences and personal qualities necessary for employees in the new business environment.

In the field of human resource management, the concept of HR-digitalization arises: the company is transforming the business model, changing the product orientation to technological. The market for technologies and tools in HR is growing and will continue to grow in the future, in two ways, capturing new applications within HR (from recruitment to analytics) and increasing productivity in the areas of managers marked by digitalization.

The digital economy is an environment that will be formed for many years and will require attracting the competences of a huge number of highly professional employees. Therefore, the task of today's HR-specialist is to prepare employees for the transformation of professions and competencies in the future. HR-specialists themselves, who is capable of hiring, training and educating staff in the digital economic reality, will also change with the companies. The benefits of digital transformation for business are incredibly high: easy resource management, access to more customer information, increased flexibility and innovation, reaching a new level of transparency, empowering employees, and building a digital culture.

Использование научных подходов для снижения конфликтности персонала предприятий аэрокосмического комплекса

Алексеева П.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Эффективность любого бизнес-процесса зависит от слаженной работы всех звеньев предприятия. Современные предприятия аэрокосмической отрасли представляют собой не только высокотехнологичные производственные процессы с высоким уровнем

автоматизации, но и научно-исследовательские процессы. Высокий уровень эффективности таких процессов напрямую определяется слаженной и бесконфликтной работой субъектов. Согласно А. Дубрину (доктор психологических наук в области психологии бизнеса), межличностный и межгрупповой конфликты – это результат-проявления внутренних качеств людей в конкурентной среде. По мнению Филиппа Корлера (американский маркетолог, консультант и профессор), конфликт происходит как при столкновении экономических, так и культурных интересов в организациях. Результаты исследований показывают, что различия работников подразделений предприятия могут вести к некоторым серьезным проблемам во взаимодействии сотрудников. Причин возникновения конфликта множество: поведенческие, социальные, материальные и т.д. Основной причиной конфликтов в подразделениях на предприятиях аэрокосмического комплекса является противостояние людей, а также когда между подразделениями стоят разные цели. Использование научных подходов в процессе оценки результативности персонала приводит к снижению уровня неудовлетворенности сотрудников своей работой и снижения уровня конфликтности на рабочих местах. Кеннет Томас (известный американский специалист в области психологии конфликта) представляет 5 стилей поведения согласно конфликт-менеджменту.

Соревновательный стиль – когда индивид использует соревновательный стиль, он хочет достичь свою цель. Стиль Примирение – цель этого стиля – найти приемлемое решение для двух сторон конфликта. Стиль Кооперация – когда конфликтующие группы и индивиды стремятся удовлетворить желания и требования каждого участника конфликта. Стиль Избегание – когда индивиды выбирают этот стиль, они избегают конфликтов.

Для предупреждения конфликтов требуется применение инструментария, позволяющего выявлять не только скрытые конфликты, но и в целом персональную предрасположенность сотрудников к конфликтному поведению. В настоящее время большинство методик позволяют выявлять конфликты в уже активной фазе, точнее выявлять конфликтных субъектов. Перспективным подходом является выявление предрасположенности конкретного субъекта к конфликтному поведению с конкретным контрагентом.

The use of scientific approaches to reduce the conflict among the personnel of aerospace enterprises

Alekseeva P.A.

MAI, Moscow, Russia

The effectiveness of any business process depends on the well-coordinated work of all parts of the enterprise. Modern enterprises in the aerospace industry are not only high-tech production processes with a high level of automation, but also research and development processes. The high level of efficiency of such processes is directly determined by the well-coordinated and conflict-free work of the subjects. According to A. Dubrin (Doctor of Psychology in the field of business psychology), interpersonal and intergroup conflicts are the result of the manifestation of the inner qualities of people in a competitive environment. According to Philip Korler (American marketer, consultant and professor), conflict occurs both when economic and cultural interests clash in organizations. Research results show that differences in employees across business units can lead to some serious problems in employee interaction. There are many reasons for the conflict: behavioral, social, material, etc. The main cause of conflicts in subdivisions at the enterprises of the aerospace complex is the confrontation between people, as well as when there are different goals between the subdivisions. The use of scientific approaches in the process of assessing the performance of personnel leads to a decrease in the level of dissatisfaction of employees with their work and a decrease in the level of conflict in the workplace. Kenneth Thomas (a well-known American expert in the field of conflict psychology) presents 5 styles of behavior according to conflict management.

Competitive Style - When an individual uses a competitive style, he wants to achieve his goal. Reconciliation style - the purpose of this style is to find an acceptable solution for the two sides of the conflict. Cooperation style - when conflicting groups and individuals seek to satisfy the desires

and requirements of each participant in the conflict. Style Avoidance - When individuals choose this style, they avoid conflicts.

To prevent conflicts, the use of tools is required that makes it possible to identify not only latent conflicts, but also, in general, the personal predisposition of employees to conflict behavior. Currently, most of the techniques allow you to identify conflicts in an already active phase, more precisely to identify conflicting subjects. A promising approach is to identify the predisposition of a specific subject to conflict behavior with a specific counterparty.

Особенности PR-коммуникаций аэропортов Московского авиационного узла в социальных сетях

Алехина О.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Интернет в современных условиях стал одним из каналов ведения бизнеса. Благодаря развитию цифровых технологий появилась возможность наладить мгновенную передачу информации, получить обратную связь, охватить одновременно большое количество разных целевых групп.

Поскольку деятельность аудитории связана с интернетом, авиационные организации стали активно использовать этот канал для воздействия на своих клиентов и партнеров.

Такой коммуникативный инструмент позволил получить множество преимуществ: возможность размещения любого необходимого количества информации, интерактивность, постоянную доступность контента для потребителей.

Аэропорты Московского авиационного узла активно взаимодействуют с пассажирами в различных социальных сетях. Они представлены на таких распространенных площадках как Instagram, VKontakte, Facebook, Youtube, Twitter.

Наиболее востребованным каналом у целевых аудиторий являются Instagram, поскольку именно там у трех аэропортов-лидеров больше всего подписчиков («Международный аэропорт Шереметьево имени А.С. Пушкина» – 60500, «Московский аэропорт Домодедово им. М.В. Ломоносова» – 49300, «Международный аэропорт Внуково имени А.Н. Туполева» – 33500). Кроме того, именно здесь компании создали группы для разных категорий целевых аудиторий. Это официальные страницы аэропорта, публикации HR-отделов для поиска персонала, площадки VIP и бизнес-залов, разделы, связанные с программами обучения. Так, у «Шереметьево» здесь действуют 4 страницы, у «Домодедово» 5 страниц, у «Внуково» 3 страницы.

Наименьшую активность имеет «Международный аэропорт Жуковский», поскольку он присутствует не на всех площадках и у него меньше подписчиков.

Взаимодействие в цифровом пространстве позволяет достичь идеальной модели – двухсторонней симметричной коммуникации, в которой идет взаимовлияние PR-отделов и социальной общественности. Важно отметить, что присутствие компаний в социальных сетях позволяет проводить мониторинг ситуации в сфере деятельности организации и относящихся к ней сообщений на данных ресурсах.

Таким образом, управление коммуникациями в социальных сетях позволяет аэропортам повлиять на отношение общественности к организации, сформировать позитивный имидж как компании, так и ее топ-менеджмента, привлечь высококвалифицированный персонал.

Features of PR-communications of Moscow Aviation Hub airports in social media

Alekhina O.A.

MAI, Moscow, Russia

Internet in modern conditions has become one of the business channels. Thanks to the development of digital technologies, it is now possible to establish an instantaneous transfer of information, receive feedback, cover a large number of different target groups simultaneously.

Since the activity of the audience relates to the Internet, aviation organizations began to actively use this channel to influence their customers and partners.

This communication tool allowed to get many advantages: the ability to place any necessary amount of information, interactivity, constant availability of content for consumers.

The airports of the Moscow Aviation Hub actively interact with passengers in various social media. They are presented on such popular platforms as Instagram, VKontakte, Facebook, Youtube, Twitter.

The most popular channel for target audiences will be Instagram, because that is where the three leading airports have the most subscribers ("Pushkin Sheremetyevo International Airport" – 60500, "Lomonosov Moscow Domodedovo Airport" – 49300, "Tupolev Vnukovo International Airport" – 33500). Besides, it is here that the companies created groups for different categories of target audiences. These are official pages of the airport, publications of HR departments for personnel search, VIP and business lounges, sections related to training programs. Thus, "Sheremetyevo" has 4 pages, "Domodedovo" has 5 pages, "Vnukovo" has 3 pages.

Zhukovsky International Airport has the least activity, as it is not present at all social networks and has fewer subscribers.

Interaction in the digital space makes it possible to achieve an ideal model – a two-way symmetric communication, in which there is a mutual influence of PR-departments and social community. It is important to note that the presence of companies in social networks allows monitoring the situation in the field of the organization and related messages on these resources.

Thus, the management of communications in social networks allows airports to influence the public attitude towards the organization, to form a positive image of both the company and its top management, to attract highly qualified personnel.

Перспективы развития интеллектуально-технологических промышленных кластеров в условиях Индустрии 4.0

Андрианов А.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из активно развивающихся направлений государственной политики в сфере инновационной экономики выступает формирование в регионах России кластеров в различных отраслях производства. Современные кластеры представляют собой высокоэффективные интегрированные структуры, в рамках которых обеспечивается системная интеллектуальная, технологическая, экономическая и консультационная поддержка процесса создания инновации по всем стадиям жизненного цикла инновационно-инвестиционного проекта. Подобная кооперация позволяет значительно повысить долю успешно доведенных до стадии производства инновационных разработок, способствуя инновационному росту как отдельных отраслей, так и национальной экономики в целом. Кроме того, она позволяет участникам получить ряд важных экономических эффектов, при этом снизив отдельные их издержки. Их значимость в качестве драйверов инновационной экономики возрастает в условиях Четвертой промышленной революции, подразумевающей системную цифровизацию производства.

По мнению автора, интеграция технологий Индустрии 4.0 в современные модели кластеров способна обеспечить не только цифровизацию их отдельных участников, но и достичь полной цифровой трансформации кластера как системы мезоуровня, значительно повысив эффективность как входящих в его состав организаций и предприятий, так и эффективность их взаимодействия в рамках общей цифровой среды. Более того, широкое распространение технологий Четвертой промышленной революции в сфере кластерной экономики будет способствовать не только развитию самих кластеров, но и обеспечит механизмы эффективного межкластерного взаимодействия в контексте Национальной инновационной системы. По мнению автора, сама технологическая сущность Индустрии 4.0 предопределяет сценарий такого экосистемного взаимодействия в качестве одного из магистральных направлений развития инновационной промышленности. Одними из наиболее перспективных типов кластерных структур в условиях Индустрии 4.0 выступают интеллектуально-технологические промышленные кластеры, предполагающие не просто внедрение систем и технологий Индустрии 4.0 на отдельных предприятиях, а направленные на системную цифровизацию всего кластера и обеспечение экосистемного взаимодействия

его участников, а также формирование интеллектуальной автоматизированной системы управления всей кластерной структурой.

Prospects for the development of intellectual and technological industrial clusters in the context of Industry 4.0

Andrianov A.M.
MAI, Moscow, Russia

One of the actively developing areas of state policy in the field of innovative economy is the formation of clusters in various industries in the regions of Russia. Modern clusters are highly efficient integrated structures that provide system intellectual, technological, economic and consulting support for the process of creating innovations at all stages of the life cycle of an innovation and investment project. Such cooperation can significantly increase the share of innovative developments successfully brought to the production stage, contributing to the innovative growth of both individual industries and the national economy as a whole. In addition, it allows participants to get a number of important economic effects, while reducing their individual costs. Their importance as drivers of an innovative economy increases in the context of the Fourth industrial revolution, which implies a systematic digitalization of production.

According to the author, the integration of Industry 4.0 technologies into modern cluster models can ensure not only the digitalization of their individual participants, but also achieve a complete digital transformation of the cluster as a meso-level system, significantly increasing the efficiency of its constituent organizations and enterprises, as well as the effectiveness of their interaction within the overall digital environment. Moreover, the widespread use of technologies of the Fourth industrial revolution in the cluster economy will not only contribute to the development of clusters themselves, but also provide mechanisms for effective inter-cluster interaction in the context of the National innovation system. According to the author, the very technological essence Of industry 4.0 determines the scenario of such ecosystem interaction as one of the main directions of development of the innovative industry. One of the most promising types of cluster structures in the context of Industry 4.0 are intellectual and technological industrial clusters, which involve not just the introduction of Industry 4.0 systems and technologies at individual enterprises, but are aimed at system digitalization of the entire cluster and ensuring ecosystem interaction of its participants, as well as the formation of an intelligent automated management system for the entire cluster structure.

Роль англоязычной среды в Московском авиационном институте для создания научно-технического задела в области авиационного двигателестроения

Андросович И.В., Кортаева И.Э.
МАИ, г. Москва, Россия

Важно применять зарубежный опыт для развития высокотехнологичных направлений создания авиационных двигателей. Объединение усилий в изучении новых разработок и идей в аэрокосмической отрасли может быть эффективно обеспечено творчеством с созданием англоязычной среды в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) (МАИ). В этом направлении весьма эффективно сотрудничество инженерных институтов университета и кафедр Института иностранных языков МАИ.

Международное сотрудничество обещает и уже дает хорошие результаты. Благодаря совместной программе Московского авиационного института и Шанхайского университета Цзю Тонга, студенты получили возможность пройти обучение в международной магистратуре, которая была впервые открыта в 2017 году [1].

Активное изучение и использование студентами, аспирантами и научными сотрудниками МАИ зарубежных статей, проиндексированных системами Scopus и WoS, дает большой объем полезной информации по теме. Например, в области полностью электрических машин и самолетов, электростанций. Современные тенденции в области авиационных двигателей требуют изучения и применения мирового опыта. Это верно как для традиционных

газотурбинных двигателей, так и для усовершенствованных двигателей с высокой степенью двухконтурности.

При этом участие студентов и аспирантов МАИ в подобных публикациях может не только повысить индекс цитируемости Института иностранных языков и всего МАИ на международном уровне, но и защитить авторские права на созданные результаты интеллектуальной деятельности.

Большое внимание в вузе уделяется модернизации процессов изучения иностранного языка студентами авиакосмической отрасли. Проведение научно-практических студенческих конференций на иностранных языках – давняя традиция Института иностранных языков МАИ. Подобные конференции вносят большой вклад в формирование англоязычной среды в МАИ.

Литература:

1. Abramova O.V., Korotaeva I.E. (2019) The practical importance of student conferences in a foreign language (from the experience of working with aerospace students) // *Espacios* (ISSN07981015), Vol. 40 (Number 31). P. 3.

The role of the English-speaking environment in Moscow Aviation Institute for the creation of scientific and technical fund in the field of aircraft engine building

Androsovich I.V., Korotaeva I.E.
MAI, Moscow, Russia

It is important to apply foreign experience for the development of high-tech areas of aviation engine creation. Combining efforts in the study of new designs and ideas in the aerospace industry can be effectively provided by creation with the creation of English-speaking environment at Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI). The cooperation of engineering institutes of the university and the departments of the Institute of Foreign Languages of MAI is highly effective in this direction.

International cooperation promises and already gives good results. Thanks to the joint program of the Moscow aviation institute and Shanghai university of Jiao Tong, students had an opportunity to be trained in the international magistracy which was for the first time open in 2017 [1].

Active study and use of foreign articles indexed by Scopus and WoS systems by students, postgraduates and researchers of MAI gives a large amount of useful information on the topic. For example, in the field of all-electric machines and aircraft, electric power plants. Modern trends in the field of aircraft engines require the study and application of world experience. This is true for traditional gas turbine engines, and for advanced engines with a high degree of high bypass ratio.

At the same time, the participation of MAI students and postgraduate students in such publications can not only increase the citation index of the Institute of foreign languages and of all the MAI at the international level, but also protect the copyright on the created results of intellectual activity.

A lot of attention at university is paid to the modernization of the processes of learning a foreign language by aerospace students. Holding scientific-practical student conferences in foreign languages is a long-standing tradition of the Institute of Foreign Languages of MAI. Such conferences contribute much to the formation English-speaking environment in MAI.

References:

1. Abramova O.V., Korotaeva I.E. (2019) The practical importance of student conferences in a foreign language (from the experience of working with aerospace students) // *Espacios* (ISSN07981015), Vol. 40 (Number 31). P. 3

Применение киберфизических систем при построении инновационно-промышленных кластеров

Анисимов К.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Современные кластеры представляют собой точки инновационного роста экономики российских регионов, а их построение частью государственной политики в сфере инновационного развития российской промышленности. Это обусловило актуальность

проведенного ранее авторского исследования, рамках которого был разработан новый тип кластерных структур – инновационно-промышленные кластеры. Одним из ключевых конкурентных преимуществ инновационно-промышленных кластеров, создаваемых в контексте парадигмы Индустрии 4.0, является повсеместная цифровизация действующего на них оборудования и протекающих технологических процессов, в конечном счете позволяющая создать полноценную цифровую модель такой кластерной структуры, отражающую реализуемые процессы производства инновационной продукции в режиме реального времени. Столь глубокое проникновение цифровых элементов в аппаратные системы входящих в кластер высокотехнологичных предприятий стало возможным благодаря разработке качественно новой модели автоматизированных систем управления – киберфизических систем. Под киберфизической системой автором понимается автоматизированная система управления одним или несколькими предприятиями кластера, базирующаяся на интеграции вычислительных ресурсов в аппаратные системы за счет применения специализированного программного обеспечения на основе искусственного интеллекта, а также сетей сенсоров, электронных датчиков и контроллеров, нацеленная на повышение технической и экономической эффективности предприятия.

Киберфизические системы представляют собой новое поколение интегрированных автоматизированных систем управления производством. Их внедрение на предприятиях кластера позволяет максимизировать эффективность производственных циклов предприятия за счет формирования так называемых «цифрового двойника» – виртуальной динамической модели работы отдельных подразделений или всего предприятия, формируемой на основе непрерывно собираемых от его оборудования данных. Практическая ценность такого цифрового двойника связана с развитием технологий машинного анализа Больших данных (Big Data) при помощи искусственного интеллекта.

Application of cyberphysical systems in building innovation and industrial clusters

Anisimov K.V.

MAI, Moscow, Russia

Modern clusters represent points of innovative growth in the economy of Russian regions, and their construction is part of the state policy in the field of innovative development of Russian industry. This led to the relevance of the author's earlier research, which developed a new type of cluster structures – innovation and industrial clusters. One of the key competitive advantages of innovation and industrial clusters created in the context of the Industry 4.0 paradigm is the widespread digitalization of the equipment operating on them and the ongoing technological processes, which ultimately makes it possible to create a full-fledged digital model of such a cluster structure, reflecting the ongoing processes of production of innovative products in real time. Such a deep penetration of digital elements into the hardware systems of high – tech enterprises included in the cluster was made possible by the development of a qualitatively new model of automated control systems-cyberphysical systems. The author defines a cyberphysical system as an automated control system for one or more devices.

several cluster enterprises, based on the integration of computing resources into hardware systems through the use of specialized software based on artificial intelligence, as well as networks of sensors, electronic sensors and controllers, aimed at improving the technical and economic efficiency of the enterprise.

Cyberphysical systems represent a new generation of integrated automated production management systems. Their implementation at cluster enterprises allows you to maximize the efficiency of the enterprise's production cycles by creating a so – called "digital double" – a virtual dynamic model of the work of individual divisions or the entire enterprise, formed on the basis of data continuously collected from its equipment. The practical value of such a digital double is associated with the development of technologies for machine analysis of Big data (Big Data) using artificial intelligence.

Применение инструментов импортозамещения при производстве авиационных двигателей нового поколения

Артошник В.Д., Тихонов А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Мировой экономический кризис, спровоцированный коронавирусной пандемией, неизбежно обращает наше внимание и заставляет задуматься о будущем высокотехнологичной отрасли, и в частности, рынка авиационного двигателестроения. Возрожденная авиационная промышленность Российской Федерации, по-прежнему, остается зависимой от иностранных авиадвигателей и других комплектующих гражданских воздушных судов, а это серьезно затрагивает вопрос экономической безопасности нашей страны.

Зависимость от иностранных двигателей наглядно демонстрируется на примере SSJ-100. До 2014 года лайнер преподносился как продукт глубокой международной интеграции отечественного авиапрома с глобальными поставщиками авиакомпонентов. Уровень импортных комплектующих SSJ100 составляет около 70%. Однако, после вхождения Крыма в состав Российской Федерации, иностранные коллеги начали изменять условия поставок, отказываться от сотрудничества и обязательств. Таким образом, нарушался непрерывный процесс производства. Помимо этого, созданный специально для SSJ-100 двигатель Sam146 быстро выходил из строя, а французская компания Safran отказывалась инвестировать в его доработку, так как самих самолетов производится очень мало и дополнительные инвестиции в двигатель не окупаются. Так, перспективный продукт российского авиапрома оказался «заложником» международных политических конфликтов и интересов.

На данный момент в отрасли двигателестроения осуществляется программа импортозамещения, закрепленная на государственном уровне. Перед предприятиями ставится задача создавать двигатели нового поколения полностью российского производства. Так, к 2023 году планируется использовать двигатель ПД-8, разработкой которого сейчас занимается Объединенная двигателестроительная корпорация. Вместе с тем появится и Sukhoi SuperJet New – новый лайнер исключительно на российских комплектующих.

Анализ итогов прошлых лет показал – основная проблема реализации программы импортозамещения заключается в отсутствии конкретного механизма, а также критериев эффективности. Таким образом, невозможно адекватно оценивать прогресс и анализировать работоспособность программы. Необходима систематизация инструментов импортозамещения для последующего комплексного применения на предприятиях.

Импортозамещение в области двигателестроения открывает дополнительные возможности для роста и развития российской авиационной промышленности в частности, и российской экономики в целом.

The use of import substitution tools when creating new generation engines

Artyushchik V.D., Tikhonov A.I.

MAI, Moscow, Russia

The global economic crisis, provoked by the coronavirus pandemic, inevitably draws our attention and makes us think about the future of the high-tech industry, and in particular the aircraft engine market. The revived aviation industry of the Russian Federation, as before, remains dependent on foreign aircraft engines and other components of civil aircraft, and this seriously affects the issue of the economic security of our country.

The dependence on foreign engines is clearly demonstrated by the example of the SSJ-100. Until 2014, the airliner was presented as a product of deep international integration of the domestic aviation industry with global suppliers of aviation components. The level of imported SSJ100 components is about 70%. However, after the Crimea became part of the Russian Federation, foreign colleagues began to change the terms of supply, to refuse cooperation and obligations. Thus, the continuous production process was disrupted. In addition, the Sam146 engine, created specifically for the SSJ-100, quickly failed, and the French company Safran refused to invest in its

refinement, since very few aircraft themselves are produced and additional investments in the engine do not pay off. Thus, a promising product of the Russian aircraft industry turned out to be a "hostage" of international political conflicts and interests.

At the moment, an import substitution program is being implemented in the engine building industry, fixed at the state level. The enterprises are tasked with creating a new generation of completely Russian-made engines. So, by 2023 it is planned to use the PD-8 engine, which is currently being developed by the United Engine Corporation. At the same time, the Sukhoi SuperJet New will also appear - a new airliner exclusively on Russian components.

An analysis of the results of the past years has shown that the main problem in implementing the import substitution program is the absence of a specific mechanism, as well as efficiency criteria. Thus, it is impossible to adequately assess the progress and analyze the performance of the program. It is necessary to systematize the tools of import substitution for subsequent complex application at enterprises.

Import substitution in the field of engine building opens up additional opportunities for the growth and development of the Russian aviation industry in particular, and the Russian economy in general.

Инструменты Lean Manufacturing в управлении качеством процессов материально-технического обеспечения гражданской авиационной техники

Ахматова М.С., Денискина А.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время производители авиационной техники осуществляют свою деятельность в условиях глобальной экономической нестабильности и повышения требований к процедурам послепродажного обслуживания авиационной техники. В этом контексте достижение высокого уровня качества процессов материально-технического обеспечения (МТО) гражданской авиационной техники является актуальной и незаменимой составляющей конкурентоспособной системы послепродажного обслуживания воздушных судов для обеспечения заданного уровня рентабельности и безопасности полетов, а также своевременной адаптации к изменениям внешней среды.

Несмотря на существующие значительные исследования в области МТО на стадии послепродажного обслуживания воздушных судов, недостаток информации в контексте управления качеством процедур МТО приводит к значительным научно-практическим проблемам, что оказывает негативное влияние на развитие отечественной гражданской авиационной промышленности. Таким образом, первостепенное внимание уделяется совершенствованию управления качеством процессов МТО посредством применения инструментов концепции Lean Manufacturing (в пер. с англ. – «Бережливое производство»), что обусловлено необходимостью оптимизации процессов в области МТО, рационализации управленческой инфраструктуры и изменения образа мышления и поведения сотрудников для достижения высокого уровня ценности для заинтересованных сторон – эксплуатантов гражданской авиационной техники.

Результаты исследования демонстрируют, что комбинированное применение инструментов Lean Manufacturing в управлении качеством способствует созданию синергетического эффекта, выражающегося в повышении результативности и эффективности процессов МТО, а также актуализации роли качества послепродажного обслуживания в условиях ужесточения требований к современной авиационной технике.

Tools of Lean Manufacturing in quality management of supply support processes for civil aviation equipment

Akhmatova M.S., Deniskina A.R.

MAI, Moscow, Russia

Currently, aircraft manufacturers operate in the context of global economic instability and increased requirements for the after-sales service of the aircraft. In this context, the achievement of a high level of quality of supply support for civil aviation equipment is an urgent and irreplaceable component of a competitive after-sales service system for aircraft to ensure a given level of

profitability and flight safety, as well as timely adaptation to the changes in the external environment.

Despite the existing significant research in the field of supply support at the stage of aircraft after-sales service, the lack of information in the context of quality management of supply support procedures leads to the significant scientific and practical gaps that has a negative impact on the development of the domestic civil aviation industry. Thus, primary attention is paid to improving the quality management of supply support processes through the implementation of tools of Lean Manufacturing that is due to the need to optimize the processes in the area of supply support, rationalize the management infrastructure and change the way of thinking and behavior of employees in order to achieve a high level of value for the stakeholders i.e. airlines.

The results of the study demonstrate that a combined implementation of the tools of Lean Manufacturing in quality management contributes to the creation of a synergistic effect expressed in increasing the efficiency and effectiveness of supply support processes, as well as the actualization of the role of quality of after-sales service in the face of tightening of requirements for the modern aviation equipment.

Применение визуализации в рамках улучшения процесса обработки листов из алюминиевых сплавов

Барбанакова А.А., Борисова Е.В., Барбанакова И.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Листовой алюминий остается основным материалом в современном авиастроении. Обычно листы из алюминиевых сплавов применяются для изготовления фюзеляжа самолета. Процесс их производства нуждается в постоянном улучшении, как и любой другой производственный процесс. Визуализация является популярным, легким в применении, а также эффективным элементом Бережливого производства. Возможные варианты применения визуализации для процесса обработки листов из алюминиевых сплавов: 1) Визуализация осуществления обслуживания оборудования. Например, в производственном цеху целесообразно установить стенд с инструкцией, описывающей подготовку оборудования к работе. Также можно разместить стенд с инструктажем крепления строп (так как при не правильном креплении строп, может произойти не предвиденная ситуация (причинение вреда работнику, ущерб оборудованию)). 2) Визуализация важной производственной информации (о качестве, о безопасности, о производственных операциях, об использовании инструмента и оборудования). В рабочей зоне можно применить визуализацию для того, чтобы работники не забывали использовать средства индивидуальной защиты. Разместить на самоклеющейся бумаге изображение СИЗ, которые необходимо надеть. Поскольку в процессе резки алюминиевого листа, отлетающая металлическая стружка может попасть в глаза если не надеть очки. Чтобы минимизировать вероятность возникновения такой проблемы предлагаю применить визуализацию в отношении СИЗ. 3) Создание наклеек с памятками. Например, памятки по уходу и подготовке оборудования, памятка с информацией о использовании и составе эмульсии при прокатке. Можно разместить наклейку непосредственно на месте ее применения, на оборудовании. 4) Размещение доски для документов, информации по управлению качеством. Эти документы, могут способствовать нахождению решения проблемы. Можно показать анализ первопричин проблемы и план мер для ее устранения. 5) Использование «Доски улучшений» для улучшения процесса производства, качества продукции и деятельности организации в целом. На этой доске сотрудники будут оставляя свои предложения и идеи по улучшению, которые будут рассматриваться через определенные промежутки времени. Применение визуализации может способствовать улучшению производительности и улучшению качества продукта. Тем более на предприятии, осуществляющем деятельность для авиастроительной отрасли.

Application of visualization to improve the processing of aluminum alloy sheets

Barbanakova A.A., Borisova E.V., Barbanakova I.A.

MAI, Moscow, Russia

Sheet aluminum remains the main material in the modern aircraft industry. Typically, aluminum alloy sheets are used to make the fuselage of an aircraft. The process of their production needs constant improvement, like any other production process.

Visualization - is popular, easy to use, as well as an effective element of Lean production. Possible applications of visualization for the process of processing aluminum alloy sheets:

1) Visualization of equipment maintenance. For example, in the production shop, it is advisable to install a stand with an instruction describing the preparation of equipment for operation. It is also possible to place a stand with instructions for fastening slings (since if the slings are not correctly fixed, an unpredictable situation may occur (harm to the employee, damage to the equipment)).

2) Visualization of important production information (on quality, on safety, on production operations, on the use of tools and equipment). In the work area, visualization can be applied so that workers do not forget to use personal protective equipment (PPE). Place the PPE image to be worn on the self-adhesive paper. Since in the process of cutting aluminum sheet, flying metal chips can fall into the eyes if you do not wear glasses. To minimize the likelihood of such a problem, I suggest applying visualization to PPE.

3) Create labels with memos. For example, maintenance and equipment preparation notes, a note with information on the use and composition of the emulsion in rolling. The effect of the application of the memo will increase if key information is reduced to conscription, the size of one or more labels. You can place the label directly at the place of application, on the equipment.

4) Placement of a board for documents, quality management information. These documents can help to find a solution to the problem. You can show the root cause analysis and the plan of measures to resolve the problem. 5) Use of the "Improvement Board" to improve the production process, the quality of products and the activities of the organization as a whole. On this board, employees will leave their proposals with actions to implement them, which are visible to both managers and employees. Employees will write their wishes or ideas for improvement. Applying visualization can improve performance and product quality. Especially at an enterprise operating for the aircraft industry.

Задачи развития партнерства организаций ракетно-космической отрасли и ведущих технических университетов

¹Басова В.П., ²Фролов В.П.

¹МАИ, ²НИИП «Квант», г. Москва, Россия

Одной из распространенных практико-ориентированных моделей взаимодействия вузов и бизнеса является создание кафедр и иных структурных подразделений, обеспечивающие практическую подготовку обучающихся, осуществляющих деятельность по профилю соответствующей образовательной программы. Успешным примером связей между предприятиями отрасли и университетами является деятельность базовых кафедр в ракетно-космической промышленности (РКП).

Предпосылки развития партнерства организаций ракетно-космической отрасли и ведущих технических университетов:

1. Развитие/усиление подготовки специалистов по одному или нескольким направлениям, определенным как перспективные в соответствии со стратегией развития базовой организации

2. Комплексное обучение и проведение исследований с максимальным приближением теоретической и практической подготовки

3. Сокращение времени адаптации выпускников, снижение показателя текучести среди молодых специалистов

Руководством отрасли была поставлена задача по формированию единого механизма регулирования деятельности базовых кафедр, применимого ко всем организациям космической отрасли.

Основные направления деятельности базовых кафедр в ракетно-космической промышленности:

- образовательное,
- научное,
- инновационное,
- международное,
- воспитательное,
- управленческое.

Предстоит определить в целом место базовых кафедр в системе инновационного развития ракетно-космической отрасли, основываясь на концепции «тройной спирали» и новых форм организации работы на кафедрах. Видится практически значимым выработка рекомендаций для предприятий ракетно-космической отрасли по созданию новых кафедр и развитию форматов деятельности существующих кафедр.

Литература:

1. Тихонов А.И., Федотова М.А., Коновалова В.Г. Взаимодействие вуза с внешними партнерами: тенденции, опыт, отраслевая специфика // Журнал «Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России». - 2018. - Т. 7. - № 6. - С. 5-13.

2. Коновалова В.Г. От передачи знаний – к приобретению опыта: развитие практико-ориентированных моделей высшего образования // материалы III Всероссийской научно-практической конференции – М.: ГУУ, 2017, с. 104-109.

3. Бородавкин В.А., Щеглов Д.К., Охочинский М.Н., Русина А.А. Базовая кафедра предприятия в структуре высшего учебного заведения // Инновации. - 2015. - № 9 (203). - С. 93-97.

Development of partnership between rocket and space industry organizations and leading technical universities

¹Basova V.P., ²Frolov V.P.

¹MAI, ²NPP “Kvant”, Moscow, Russia

One of the most common practice-oriented models of interaction between universities and business is the creation of departments and other structural divisions that provide practical training for students who carry out activities in the profile of the corresponding educational program. A successful example of relations between industry enterprises and universities is the activity of basic departments in the rocket and space industry (RCP).

Prerequisites for the development of partnership between rocket and space industry organizations and leading technical universities:

1. Development/strengthening of training of specialists in one or more areas identified as promising in accordance with the development strategy of the base organization
2. Comprehensive training and research with the maximum approximation of theoretical and practical training
3. Reducing the time of adaptation of graduates, reduction in turnover rate among young professionals

The management of the industry set the task of forming a single mechanism for regulating the activities of basic departments, applicable to all organizations of the space industry.

The main activities of the basic departments in the rocket and space industry:

- Educational.
- Scientific.
- Innovative.
- International.
- Educational.
- Managerial.

It is necessary to determine the overall place of basic departments in the system of innovative development of the rocket and space industry, based on the concept of the "triple helix" and new forms of organization of work at the departments. It is seen as practically significant to develop

recommendations for enterprises of the rocket and space industry on the creation of new departments and the development of formats for the activities of existing departments.

References:

1. Tikhonov A. I., Fedotova M. A., Konovalova V. G. Interaction of the University with external partners: trends, experience, industry specifics // Journal "Personnel management and intellectual resources in Russia". - 2018. - Vol. 7. - No. 6. - P. 5-13.

2. Konovalova V. G. From knowledge transfer to experience acquisition: development of practice – oriented models of higher education // materials of the III all-Russian scientific and practical conference – Moscow: GUU, 2017, p. 104-109.

3. Borodavkin V. A., Shcheglov D. K., Okhochinsky M. N., Rusina A. A. basic Department of enterprise in the structure of higher education institutions // Innovations. - 2015. - № 9 (203). - Pp. 93-97.

Аспекты стратегической безопасности инновационных проектов авиационной промышленности

Бондаренко А.В., Бурдина А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Производственная система промышленного предприятия подвержена системным международным форс-мажорным рискам. В сложных условиях изоляции предприятиям в постизоляционный период необходимо обеспечивать производственный процесс, поддерживать конкурентоспособность продукции. Реальны проблемы с поставками материалов, комплектующих из других стран. Устойчивое развитие российских предприятий авиационной промышленности (АП) возможно только при создании российских конструктивных материалов и передовых технологий, создания высокотехнологичных (ВТ) видов авиационной продукции на территории РФ. Решить проблему стратегического развития отрасли и повышения стратегической безопасности (СБ) АП РФ возможно на базе единой государственной стратегии развития, приводя организационно-производственную систему каждого отдельного предприятия в соответствие с реальными потребностями внутреннего и мирового рынков производства ВТ авиационной продукции.

Высокотехнологичные инновационные проекты (ИП) промышленных предприятий чрезвычайно разнородны как по отраслям экономики, так и по масштабам деятельности, длительности, степени конкуренции в отрасли и регионе, экономическим показателям (коммерчески эффективные, социально значимые и др.). Поэтому единое описание для них создать сложно и практически невозможно. ВТ ИП промышленного предприятия как объекту экономических отношений свойственно возникновение каких-либо угроз при достижении заявленных целей. Авиационная продукция обладает длительным жизненным циклом, сложной структурой, процессом производства, сборки и послепродажного обслуживания. Данные факторы и являются ключевыми проблемами анализа СБ ИП в АП.

Стратегическая безопасность ИП – комплексный показатель, характеризующий состояние защищенности ИП и его способность произвести определенный эффект в соответствии с долгосрочной стратегией развития промышленности.

Стратегическая безопасность ИП промышленного предприятия образует взаимосвязь четырех важнейших параметров:

- Материальный потенциал проекта.
- Технично-технологический потенциал.
- Кадровый потенциал.
- Сервисный потенциал.

Фактор времени существенным образом влияет на перечисленные компоненты. Следовательно, СБ должна рассматриваться исходя из динамической теории. Таким образом, в рамках анализа СБ ИП АП предлагается использовать структурный подход, учитывающий синергетический эффект его компонент.

Aspects of strategic security of innovative projects of the aviation industry

Bondarenko A.V., Burdina A.A.

MAI, Moscow, Russia

The production system of an industrial enterprise is subject to systemic international force majeure risks. In difficult conditions of isolation, enterprises and in the post-isolation period need to carry on a production process, to keep the competitiveness of products. Problems with the supply of materials and components from other countries are real. Sustainable development of Russian enterprises of the aviation industry (AI) is possible only with the creation of Russian structural materials and advanced technologies, the creation of high-tech (HT) types of aviation production on the territory of the Russian Federation. The probable solution of the problem of the strategic development of the industry and increase the strategic security (SS) of the AP RF is possible on a basis of a unified state development strategy, adjusting the organizational and production system of each individual enterprise in accordance with the actual demands of the domestic and world markets for the production of aircraft products.

High-tech innovative projects (IP) of industrial enterprises are extremely heterogeneous of the economy branches and the scale of activity, duration, degree of competition in the industry and the region, economic indicators (commercially effective, socially significant, etc.). Therefore, it is difficult and practically impossible to create a single description for them.

HT IP of an industrial enterprise as an object of economic relations is characterized by the emergence of any threats when achieving the stated goals. Aviation products have a long life cycle, a complex structure, a production process, assembly and after-sales service. These factors are the key problems in the analysis of the SS IP in the AI.

IP strategic security is a complex indicator characterizing the IP security state and its ability to produce a certain effect in accordance with the long-term industrial development strategy.

The strategic security of an IP of an industrial enterprise forms the relationship of four most important parameters:

- The material potential of the project.
- Technical and technological potential.
- Human resources.
- Service potential.

The time factor significantly affects the listed components. Consequently, SS should be considered based on the dynamic theory. Thus, within the framework of the analysis of the SS IP AI it is proposed to use a structural approach that takes into account the synergistic effect of its components.

Стереотипы, их использование в коммуникативных кампаниях пассажирских авиаперевозок АО «Авиакомпания «Сибирь»

Бубнов В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

При подготовке коммуникативных кампаний для авиакомпании учитывают социально-культурные стереотипы имеющихся и потенциальных клиентов организации.

Феномен социокультурных стереотипов многогранен, что дает основания для его различных интерпретаций. Под ним понимается совокупность взглядов, оценок человека на различные явления, сформированные в его сознании путем анализа личного опыта, информационного поля жизнедеятельности личности.

Стереотипы позволяют отсекают «лишнюю» информацию, иметь устойчивое представление о предмете, влиять на оценку явлений, формировать поведение.

При подготовке рекламного продукта для авиакомпании необходимо учитывать социально-культурные стереотипы потребителя рекламы и, используя их, создавать новые, необходимые рекламодателю стереотипы о рекламируемой организации, ее услугах. Узнаваемые положительные стереотипы в рекламе привлекают внимание потребителя, позволяют ему заметить информацию, создать позитивное мнение о товаре.

Пассажирские авиакомпании изучают стереотипы восприятия мира целевыми аудиториями, используя их в рекламе.

Авиакомпания «Сибирь» – «S7» представляет своего пассажира как человека, которому дороги семейные ценности, путешествия, романтика. Стереотипы подобных образов воплощены в рекламе.

В различных коммуникативных кампаниях представлены стереотипные образы счастливого отдыха – море, пляж, радостные люди с детьми (семьи), что создало стереотип – «S7» – дорога к счастью.

Стереотип счастья – это счастливые и радостные дети, довольно часто используется компанией. Удачные сюжеты смогли закрепить образ «счастливой дороги», помогли потенциальным клиентам запомнить товарный знак компании, начать доверять ей, сложился новый образ: «забота о детях – есть забота о безопасности». Доверить детей можно только лучшим авиаперевозчикам.

В 2020 году, когда рынок международных перевозок функционирует в ограниченном виде, люди боятся путешествовать – фирма, используя стереотипы красоты и романтики, рассказывает о бескрайних возможностях безопасного отдыха в России, путь к которому лежит через безопасные для здоровья перелеты с авиакомпанией.

В деятельности организация не только использует сложившиеся стереотипы, но и создает новые – меняет ливреи самолетов своей авиакомпании, на необычный салатный цвет, подчеркивая экологические ценности фирмы.

Использование социально-культурных стереотипов при проведении коммуникативных кампаний позволило привлечь внимание к фирме, повысило эффективность управления организацией.

Stereotypes and their use in advertising campaigns for passenger services provided by Siberia Airlines JSC

Bubnov V.V.

MAL, Moscow, Russia

The phenomenon of sociocultural stereotypes is multifaceted, which gives grounds for its various interpretations. What we will mean by it is the totality of opinions and judgements that a person has with regard to various phenomena and that have taken shape in their mind by means of an analysis of the personal experience and the information realm in which the individual lives.

Stereotypes help to filter out “irrelevant” information, to have a stable view on a subject, to influence the judgement about phenomena and to shape the behaviour.

When developing an advertising product for an airline, it is necessary to take into account the sociocultural stereotypes held by the consumer of the advertising product and use them to create new stereotypes, which the advertiser needs, about the company being advertised and its services. Recognisable positive stereotypes in advertising attract customers’ attention, help them to notice information and create a positive opinion about the product offered by the company.

Passenger carriers study stereotypes related to the perception of the world by target audiences and use them in advertising.

Siberia Airlines (trademark – S7) sees its passenger as a person who treasures family values, travelling and romance. The stereotypes related to such images are embodied in advertising.

Various types of advertisements often show stereotype images of a happy holiday: the sea, the beach, happy people with their children (families), which produced the stereotype that S7 is the way to happiness.

The stereotype of happiness – happy and joyful children – is quite often used by the company. Successful advertisements helped to ingrain the image of “happy travelling”, helped many potential clients to remember the company’s logo and to begin to trust the company; a new image took shape: “caring for children means caring for their safety”. You can entrust your children only to the best carriers.

In 2020, when the international passenger market operates on a very limited basis, people are afraid to travel – the company uses the stereotypes of beauty and romance to tell people about

endless opportunities for a safe holiday in Russia, the way to which is through health-friendly flights with the airline.

The company also defies stereotypes: it has changed the livery of its aircraft, choosing an unusual line colour, to emphasise its environmental commitments.

It is worth mentioning that the use of sociocultural stereotypes helped the company to attract attention.

Модель оценки эффективности модернизации наукоёмких изделий

Бурдин С.С., Москвичева Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В Программе развития авиационной отрасли особое внимание уделяется необходимости повышения доли Российской авиационной продукции на мировом рынке. Кроме того, наукоёмкие изделия: самолёты, вертолёты, беспилотные летательные аппараты в соответствии с подходом правительства должны обладать определённой степенью технологической, материально-технической, стратегической эффективности, то есть низким уровнем стратегического риска. Следовательно, данный вид продукции необходимо систематически модернизировать, разрабатывать эффективные модификации в условиях стратегических рисков и стоимостного подхода, чтобы наращивать конкурентные преимущества, увеличивать долю российской продукции на рынке.

Сущность процесса модернизации наукоёмкого продукта состоит в обновлении объекта, приведении его в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, показателями качества. Практика показывает, что модификации высокотехнологичной продукции в авиационной отрасли не всегда имеют положительную эффективность, что подтверждает гипотезу исследования о необходимости разработки критерия обоснования модернизации высокотехнологичной продукции, разработки новых модификаций.

Выдвинуто предположение, что целесообразность, эффективность модернизации высокотехнологичной продукции зависит от уровня стратегического риска продукции.

Стратегический риск наукоёмкого продукта это комплексный показатель, включающий оценку различных характеристик продукта в сравнении с конкурентными аналогами, тенденциями развития материалов, технологий, требованиями заказчиков. В исследовании проведена формализация данного показателя, выделены его структурные характеристики, процедуры, критерии оценки. Апробация проведена на примере БЛА. Выделены характеристики стратегического риска БЛА: риск полётных операций, риск летных характеристик, риск систем обеспечивающих управление системами вооружения, риск систем обеспечивающих управление БЛА, риск общих характеристик БЛА. Определены требования к компонентам рисков, проведена оценка, определён уровень стратегического риска БЛА.

Гипотеза исследования состоит в том, что цель управления жизненным циклом наукоёмкой продукции достигается на основе принятия решений о модернизации продукции с помощью показателя стратегического риска продукции.

Разработана модель оценки эффективности модернизации высокотехнологичной продукции в авиационной отрасли на основе критерия стратегического риска. Проведена ее формализация и практическая реализация.

Model for assessing the effectiveness of modernization of science-intensive products

Burdin S.S., Moskvicheva N.V.

MAI, Moscow, Russia

The Aviation Industry Development Program pays special attention to the need to increase the share of Russian aviation products in the world market. In addition, science-intensive products: airplanes, helicopters, unmanned aerial vehicles, in accordance with the government's approach, should have a certain degree of technological, material and technical, strategic efficiency, that is, a low level of strategic risk. Consequently, this type of product needs to be systematically

modernized, to develop effective modifications in the face of strategic risks and a cost approach in order to build up competitive advantages, to increase the share of Russian products in the market.

The essence of the modernization process of a science-intensive product consists in updating the facility, bringing it in line with new requirements and norms, technical conditions, and quality indicators. Practice shows that modifications of high-tech products in the aviation industry do not always have a positive effectiveness.

It has been suggested that the feasibility and effectiveness of modernizing high-tech products depends on the level of strategic risk of products.

The strategic risk of a science-intensive product is a complex indicator that includes an assessment of various characteristics of a product in comparison with its competitors, trends in the development of materials, technologies, and customer requirements. The study formalized this indicator, highlighted its structural characteristics, procedures, evaluation criteria. The probation was carried out on the example of a UAV. The characteristics of the strategic risk of UAVs are highlighted: the risk of flight operations, the risk of flight performance, the risk of systems providing control of weapons systems, the risk of systems providing control of UAVs, the risk of general characteristics of UAVs. The requirements for the components of risks were determined, an assessment was carried out, the level of strategic risk of the UAV was determined.

The hypothesis of the research is that the goal of life cycle management of science-intensive products is achieved on the basis of decision-making on product modernization using an indicator of strategic product risk.

A model for assessing the effectiveness of modernization of high-tech products in the aviation industry has been developed based on the strategic risk criterion. Its formalization and practical implementation have been carried out.

Методика управления персоналом на базе ПАО «Аэрофлот – Российские авиалинии»

Бурдина А.А., Агеев М.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Персонал в компании является важнейшим ресурсом, инструментом, с помощью которого достигаются тактические и стратегические цели организации и как следствие повышается стоимость компании. ПАО «Аэрофлот» - крупнейший в России холдинг, динамично развивающаяся российская авиакомпания и национальный перевозчик. Таким образом к управлению персоналом необходимо применять подход, основанный на диверсификации и анализе рисков. В ПАО «Аэрофлот» все сотрудники делятся на категории: наземный персонал (техническое обслуживание, ремонт, продажа билетов и услуг) и лётный персонал (бортпроводники, лётный состав). Уровень риска у каждой категории разный.

Планирование фонда заработной платы является частью бизнес планирования, созданного с целью оценки предполагаемых расходов на трудовые ресурсы. Финансовый блок компании должен определить максимальный объем ФОТ и численности для выполнения ожидаемых целей и финансового результата компании. Следует учитывать, как предыдущие показатели за предшествующий период, так и желаемые значения организации.

Бюджет формируется в разрезе структурных подразделений и категорий работающих сотрудников (основные, вспомогательные рабочие и управленческий персонал). Расчёты необходимо производить на основе штатного расписания компании, но при этом брать в учёт дополнительный набор сотрудников.

После получения задания по расчёту численности от руководства компании по расчёту плановой численности следует провести анализ потребной и фактической численности, определить производительность труда, провести анализ отработанного времени и отправить расчёт на утверждение. В случае отсутствия потребной численности сравнивается штатная и среднесписочная численность. В результате анализа определяются факторы отклонения фактической численности от потребной или штатной. Производительность труда определяется исходя из объема работ численности подразделения.

К управлению персоналом предлагается применить системный подход на основе концепции риск-менеджмента. Классифицированы следующие риски по HR: риск

квалификации, риск мотивации персонала, риск производительности труда, риск потери интеллектуального капитала. Были построены модели оценки определения и минимизации воздействия рисков на компанию.

Personnel management methodology based on PJSC “Aeroflot - Russian Airlines”

Burdina A.A., Ageev M.N.

MAI, Moscow, Russia

The personnel in the company is the most important resource, the tool with which the tactical and strategic goals of the organization are achieved and, as a result, the value of the company increases. PJSC Aeroflot is Russia's largest holding, a dynamically developing Russian airline and national carrier. Thus, an approach based on diversification and risk analysis must be applied to personnel management. At PJSC Aeroflot, all employees are divided into categories: ground personnel (maintenance, repairs, ticket sales and services) and flight personnel (flight attendants, flight crew). The level of risk for each category is different.

Payroll planning is part of business planning designed to estimate the estimated cost of labor. The financial unit of the company must determine the maximum amount of payroll and the number of employees to meet the expected goals and financial results of the company. It should take into account both the previous indicators for the previous period and the desired values of the organization.

The budget is formed in the context of structural divisions and categories of employees (main, auxiliary workers and management personnel). Calculations must be made on the basis of the company's staffing table, but at the same time take into account an additional set of employees.

After receiving an assignment for calculating the number of employees from the company's management to calculate the planned number, an analysis of the required and actual number should be carried out, labor productivity should be determined, an analysis of the hours worked and the calculation sent for approval. In the absence of the required number, the staffing and average number are compared. As a result of the analysis, the factors of deviation of the actual number from the required or staff number are determined. Labor productivity is determined based on the volume of work of the number of units.

It is proposed to apply a systematic approach to personnel management based on the concept of risk management. The following HR risks are classified: risk of qualification, risk of personnel motivation, risk of labor productivity, risk of loss of intellectual capital. Models were built to assess the identification and minimization of the impact of risks on the company.

Исследование вопросов оценки стоимости компании

Бурдина А.А., Гуцин К.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Исследование вопросов оценки стоимости авиационных компаний, необходимо для правильной оценки стоимости компании и определения, дальнейшего пути развития организации. При правильной оценке компании возможно добиться наиболее эффективного менеджмента организации на макро и микроуровнях. Получить оптимизированный денежный поток внутри организации и со внешней средой. Выявление, неявных показателей при оценке стоимости, для принятия эффективных управленческих решений.

Требуется выявить какой метод оценки стоимости авиационных компаний: затратный, доходный или сравнительный, будет наиболее полно отражать сущность компании и ее стоимость как в Российских рублях так и долларах США на определенный момент времени. Рассмотреть примеры в случае синергии нескольких авиационных компаний.

Важной частью исследования является изучение теоретическо-методологической базы оценки стоимости авиационной компании. Понять цели и задачи оценки стоимости компании. Ознакомиться с нормативно-правовым регулированием в Российской Федерации. Проанализировать текущие проблемы оценки стоимости в Российской Федерации. Проанализировать деятельность выбранной авиационной компании Российской Федерации: затратным, доходным и сравнительным методами с использованием модели Гордона. А

также рассчитать стоимость компании отдельно и в случае синергии. Выявить возможные закономерности в стоимости авиакомпаний.

Разработать и предложить собственные рекомендации или программы по совершенствованию оценки общей стоимости авиационных компаний. А также переоценить стоимость компании при внедрении, предоставленных рекомендаций.

Research of the company's valuation issues

Burdina A.A., Gushchin K.V.

MAI, Moscow, Russia

Research into the valuation of aviation companies is necessary to correctly assess the value of the company and determine the further development of the organization. With the right assessment of the company, it is possible to achieve the most effective management of the organization at the macro and micro levels. Get optimized cash flow within the organization and with the external environment. Identification of implicit indicators in cost estimation for making effective management decisions.

It is necessary to identify which method of estimating the cost of aviation companies: cost, revenue or comparative, will most fully reflect the essence of the company and its value both in Russian rubles and US dollars at a certain point in time. Consider examples in the case of synergy between several aviation companies.

An important part of the research is the study of the theoretical and methodological basis for estimating the cost of an aviation company. Understand the goals and objectives of the company's valuation. Get acquainted with the legal regulations in the Russian Federation. Analyze the current problems of valuation in the Russian Federation. Analyze the activities of the selected aviation company in the Russian Federation: cost, revenue, and comparative methods using the Gordon model. And also calculate the cost of the company separately and in case of synergy. Identify possible patterns in the cost of airlines.

Develop and offer your own recommendations or programs to improve the assessment of the total cost of aviation services. And also re-evaluate the company's value when implementing the recommendations provided.

Подходы к управлению интеллектуальным капиталом авиационной корпорации

Бурдина А.А., Лукичева В.Ю., Ясинская Д.О.

МАИ, г. Москва, Россия

Изучена нормативно-правовая база управления интеллектуальным капиталом, участвующим в формировании помодульно распределенных систем авиационной техники. Рост научного направления нуждается в создании интеллектуальной системы хранения, накопления, использования данных в сфере контроллинга помодульно распределенных систем авиационной техники.

Под интеллектуальным капиталом понимают основанные на связях знания, навыки и производственный опыт людей, а также нематериальные активы (НМА), которые производительно используются в создании помодульно распределенных систем авиационной техники.

Основной целью управления интеллектуальным капиталом и инновациями промышленных предприятий является обеспечение максимально высокой эффективности интеллектуального корпоративного капитала, а также сохранении его качества, актуальности и работоспособности.

Отличие понятия интеллектуальный капитал заключается в его структуре, которая состоит из: человеческого, структурного, клиентского, партнерского капитала. Пересечение капиталов отмечают возникновением синергетического эффекта вследствие их взаимодействия.

Принятие к учету интеллектуального капитала, участвующего в формировании помодульно распределенных систем авиационной техники в форме НМА позволит повысить стоимость авиационных компаний. Это актуально, поскольку повышает показатель инвестиционной привлекательности компании.

Для решения проблемы управления интеллектуальным капиталом, участвующим в формировании помодульно распределенных систем авиационной техники предлагаем разработанную архитектуру нейронной сети. Структура нейронной сети состоит из показателей эффективности, оценки работы сотрудников над помодульно распределенными системами авиационной техники. Входными данными для этой сети необходимо принять: производительность труда, уровень технологической нагрузки, объем и качество используемых материалов, управленческие навыки высшего, среднего и низшего звена, также квалификацию сотрудников, скорость производственного цикла, длительность жизненного цикла.

Approaches to managing the intellectual capital of an aviation Corporation

Burdina A.A., Lukicheva V.Yu., Yasinskaya D.O.

MAI, Moscow, Russia

The regulatory and legal framework for the management of intellectual capital involved in the formation of modularly distributed systems of aviation equipment has been studied. The growth of the scientific direction requires the creation of an intelligent system for storing, accumulating, using data in the field of controlling modularly distributed systems of aviation technology.

Intellectual capital is understood as the knowledge, skills and work experience of people based on connections, as well as intangible assets (intangible assets), which are used productively in the creation of modularly distributed systems of aviation technology.

The main goal of managing intellectual capital and innovations of industrial enterprises is to ensure the highest possible efficiency of intellectual corporate capital, as well as to preserve its quality, relevance and efficiency.

The difference between the concept of intellectual capital lies in its structure, which consists of: human, structural, client, partner capital. The intersection of capitals is marked by the emergence of a synergistic effect due to their interaction.

Taking into account the intellectual capital involved in the formation of modularly distributed systems of aviation equipment in the form of intangible assets will increase the value of aviation companies. This is relevant because it increases the indicator of the company's investment attractiveness.

To solve the problem of intellectual capital management involved in the formation of modularly distributed systems of aviation technology, we propose the developed architecture of a neural network. The structure of the neural network consists of performance indicators, assessment of the work of employees on modularly distributed systems of aviation equipment. The input data for this network must be taken: labor productivity, the level of technological load, the volume and quality of the materials used, the management skills of the top, middle and lower level, also the qualifications of employees, the speed of the production cycle, the duration of the life cycle.

Принципы работы пресс-центра АО «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина»

Василенко А.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Пресс-центр Публичного акционерного общества «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина» (ПАО «Ил») придерживается таких основных принципов, как оперативность, полнота и информационная открытость.

В продвижении многоцелевого грузового самолета Ил-76 на рынке гражданской авиации пресс-служба использует следующие PR-инструменты:

- Регулярная рассылка пресс-релизов, отражающих основные и важные события в компании;
- Подготовка аналитических отраслевых справок;
- Организация пресс-конференций и брифингов;
- Участие в отраслевых event-мероприятиях, форумах, конференциях.

Автором был проведен мониторинг СМИ 01 декабря 2016 года по 5 марта 2018 года на предмет присутствия информации о самолетах семейства Ил-76, выпускаемых ПАО «Ил», в средствах массовой информации, в сети Интернет (социальных сетях) с целью

количественной и качественной оценки информационного фона Мониторинг СМИ показал, что чаще всего о самолетах семейства Ил-76 упоминалось в Интернет-ресурсах – 32%; в газетах – 20%; в интернет-изданиях – 14%. Упоминания о самолете в информационных агентствах составляет – 12%, в журналах всего – 12%; по радио и по телевидению - около 5%. Всего была проанализирована 571 публикация (248 – изданиях федерального уровня, 125 – региональные изданиях, 198 – зарубежные СМИ). 68% публикаций имели положительный характер, 20% – нейтральный, 12% – негативный. Общий позитивный фон вокруг самолета создавали сообщения об улучшении качества обслуживания, уровня безопасности.

Основные темы, отражавшие положительный смысловой фон в рассмотренном материале можно объединить в следующие группы: доставка гуманитарной помощи в разные регионы и страны мира (Сирия, Донбасс), разработка новых модификации, транспортного самолета Ил-76 и его модификаций.

Таким образом, пресс-центр Публичного акционерного общества «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина» занимается активным продвижением воздушного судна Ил-76 через российские и зарубежные СМИ, что позволяет надеяться на то, что данная политика позволит повысить объем продаж этой модели самолета и сделать его конкурентоспособным на рынке гражданской авиации не только России, но и всего мира. В рамках проведенного исследования можно сделать вывод о том, что коммуникативная и маркетинговая политика ПАО «Ил» положительно влияет на целевую аудиторию через СМИ, предоставляя оперативные и достоверные сведения о самолете Ил-76.

The principles of the work of the PJSC "IL" press-center

Vasilenko A.G.

MAI, Moscow, Russia

The Press Center for the Public Joint Stock Company "Aviation Complex named after S.V. Ilyushin" (PJSC "IL") adheres to such basic principles as efficiency, authenticity and informational openness.

In promoting the IL-76 multipurpose cargo aircraft in the civil aviation market, the press service uses the following PR tools:

regular distribution of press releases reflecting the main and important events in the company; preparation of analytical industry reports; organization of press conferences and briefings; participation in industry events, forums, conferences.

The author monitored the media messages from December 01, 2016 to March 5, 2018 to find the information about the aircraft of the IL-76 family, produced by PJSC "IL", in the media, on the Internet (social networks) to make the quantitative and qualitative assessment of the information background. Mass media monitoring showed that most often the aircraft of the IL-76 family were mentioned in the Internet resources -32%; in the newspapers – 20%; in online publications – 14%.

The mention of the plane in the news agencies is 12%, in magazines only 12%, on radio and television – about 5%. 571 was analyzed publications 248 – federal publications, 125 – regional publications, 198 – foreign media). The study has found 68% of the publications were positive, 20% neutral and 12% negative. The general positive background around the aircraft was created by messages about improving the quality of the service and the level of safety.

The main topics that reflected the positive semantic background in the material considered can be combined into the following groups: the delivery of humanitarian assistance to different regions and countries of the world (Syria, Donbass), the development of new modifications, the IL-76 transport aircraft and its modifications.

Thus, the press center of the Public Joint Stock Company Aviation Complex named after S.V. Ilyushin "is actively promoting the IL-76 aircraft through the Russian and foreign media, which allows us to hope that this policy will increase the sales of this aircraft model and make it competitive in the civil aviation market not only in Russia, but throughout the world. As part of the study, it can be concluded that the communication and marketing policy of PJSC "IL" has a

positive effect on the target audience through the media by providing prompt and reliable information about the IL-76 aircraft.

Организация обучения иностранному языку студентов инженерных специальностей в удаленном режиме в условиях самоизоляции

Вечеринина Е.А., Коротун В.Л.
МАИ, г. Москва, Россия

Условия самоизоляции студентов инженерных специальностей МАИ диктуют требования к выбору образовательных технологий. Благодаря широкой доступности сети Интернет и мобильным устройствам приема-передачи данных существует возможность изучения материала вне учебных аудиторий в соответствии с личными потребностями и возможностями и персонализации процесса обучения. Анализируется опыт использования дистанционных технологий при обучении иностранному языку в МАИ, реализуемых с помощью современных средств коммуникации.

Рассматривая инженерную составляющую в обучении иностранному языку в авиационном вузе, мы выделяем два компонента: общинженерную и авиатехническую терминологию; грамматические конструкции, характерные для научно-технических текстов. В результате анализа научных работ, посвященных исследованию происхождения и использованию специальных терминов, подчеркивается факт частого несоответствия значений одной терминологической единицы, принадлежащей разным техническим областям. В обучении грамматике выделяются особенности использования конструкций на основе неличных форм глагола, пассивного залога, определительных придаточных предложений.

Возможности образовательной платформы MOODLE (lms.mai.ru) позволяют размещать элементы курса, как в виде печатных материалов, так и в виде аудио и видеоматериалов, которые, по мнению ряда ученых (Э. Дейл, М. В. Манторова, Ж. Пиаже, Д. В. Широков), активно способствуют более быстрому усвоению материала и повышению мотивации. Элементы курса могут содержать гиперссылки, которые позволяют создавать сложную разветвленную структуру организации учебного материала. Работа с курсом, организованным подобным образом, совершенствует навыки взаимодействия студентов МАИ с интерактивной цифровой средой.

Organization of foreign language training for engineering students in remote mode in self-isolation

Vecherinina E.A., Korotun V.L.
MAI, Moscow, Russia

The conditions of self-isolation stipulate requirements for the choice of educational technologies. Thanks to the wide accessibility of the Internet and mobile devices for receiving and transmitting data, it is possible to study the material outside the classroom in accordance with personal needs and capabilities and personalize the learning process. The article analyzes the experience of using remote technologies implemented in teaching foreign languages in MAI using modern means of communication.

Considering the engineering element in teaching a foreign language we distinguish two components: general engineering and aerotechnical terminology and grammatical features of scientific and technical texts. As a result of the analysis of scientific works studying the origin and use of special terms it is emphasized that there is frequent discrepancy between the meanings of one terminological unit belonging to different technical fields. In teaching grammar the features of using grammar constructions based on the non-finite verb forms, passive voice, and attributive subordinate clauses are highlighted.

Features of the MOODLE educational platform (lms.mai.ru) allow you to place elements of the course both in the form of text materials and audio and video materials. According to a number of scientists (E. Dale, M. V. Mantorova, J. Piaget, D. V. Shirokov) they actively help faster understanding of the content and increase motivation. Course elements can contain hyperlinks that allow you to create a complex branched structure of educational material organization. Working

with a course organized in this way improves the skills of interacting students with a digital environment.

Применение методов машинного обучения для выявления фокус-групп среди участников авиаперелетов

Виноградов В.И., Браташов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе используется набор данных, содержащий информацию об удовлетворенности пассажирами услугами авиакомпаний. В данном наборе данных содержится информация об авиапассажирах, включая их пол, возраст, о цели и характеристиках перелета, а также информация из последующего опроса клиентов об их удовлетворенности различными аспектами обслуживания в процессе перелета.

Задачи, которые необходимо решить в процессе анализа представленного набора данных:

1. Предобработка исходных данных.
2. Разбиение сведений о перелетах на кластеры и анализ их.
3. Выявление в каждом кластере наиболее важных аспектов перелета, которые могут быть связаны с удовлетворенностью клиента обслуживанием.
4. Выделение наиболее важных для членов кластера услуг и их возможное ранжирование.
5. Формирование на основании приоритетных услуг пакета предложений для клиентов из различных кластеров.
6. Разработка алгоритма классификации, который позволит, основываясь на информации о клиенте, предсказать к какому кластеру он относится, и предложить ему соответствующий пакет услуг.

Работа производится с набором данных, содержащем 103903 записи о перелетах, которые разбиваются на небольшое, не более 10 количество кластеров, содержащими клиентов с качественно схожими требованиями к авиакомпании. Из каждого кластера были удалены аномальные прецеденты. На основе этого разбиения был построен классификатор для формирования предложения набора услуг для новых клиентов.

Вывод. Применение методов машинного обучения позволяет адаптивно формировать маркетинговые предложения для клиентов авиакомпаний.

Applying machine learning methods to identify focus groups among air travel participants

Vinogradov V.I., Bratashov A.A.

MAI, Moscow, Russia

This work uses a dataset containing information on passenger satisfaction with airline services. This dataset contains information about passengers, including their gender, age, purpose and characteristics of the flight, as well as information from a subsequent customer survey about their satisfaction with various aspects of the service during the flight.

Tasks to be solved in the process of analyzing the presented data set:

1. Preprocessing of initial data.
2. Dividing information about flights into clusters and analyzing them.
3. Identifying the most important aspects of the flight that can be associated with customer satisfaction with the service in each cluster.
4. Identifying the most important services for cluster members and their possible ranking.
5. Formation of a package of proposals based on priority services for clients from various clusters.
6. Development of a classification algorithm, which will allow, based on information about the client, to predict which cluster he belongs to, and offer him the appropriate package of service.

The work is carried out with a dataset containing 103903 flight records, which are divided into a small number of clusters, not more than 10, containing customers with qualitatively similar requirements for the airline. Anomalous precedents have been removed from each cluster. On the basis of this division, a classifier was built to form a proposal for a set of services for new customers.

Conclusion. The use of machine learning methods allows to adaptively form marketing proposals for airline customers.

Особенности обучения английскому языку студентов аэрокосмических специальностей

Власова С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Выбор методов обучения иностранному языку в неязыковом вузе сегодня обусловлен рядом противоречий: цифровизация мира с ее полиструктурой осознания действительности и темпоральность формирования когнитивных способностей; глобализация общества и запрос на уникальность; синергия социальных взаимодействий и сохранение культурной самоидентификации.

Для решения данных противоречий при обучении студентов аэрокосмических специальностей иностранным языкам требуются: 1) лично-ориентированный подход и создание индивидуальных траекторий обучения; 2) принцип непрерывности профессионально-направленного образования; 3) принцип связи теории с практикой на базе педагогических экспериментов.

Необходима проработка возможности создания учебных групп в зависимости от уровня владения иностранным языком и с опорой на профессионально-личностные запросы студента. Проблемой станет тайм менеджмент, поскольку преподавателям потребуется больше времени на постоянный мониторинг. Возникнет противоречие в организации расписания, т.к. в учебном процессе будет задействован не один наставник и его студенты, а целая группа преподавателей кафедры, каждый из которых отвечает за свой аспект обучения или за определённую категорию студентов.

Учебные планы требуется выстроить для каждого студента в виде «лестницы вверх», и каждый обучающийся должен знать, до какой ступени он обязан добраться к концу курса. Метод частой смены преподавателей должен дать отличный эффект.

Литература:

1. Банкожитенко Е.В., Власова С.В., Зубанова С.Г. Особенности научно-педагогических подходов при обучении иностранному языку студентов технических факультетов МАИ (НИУ) //Интернет-журнал «Мир науки» 2017, Том 5, No2<http://mir-nauki.com/PDF/13PDMN217.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

2. Marwan, Ardi. (2017). Implementing Learner-Centered Teaching in an English Foreign Language (EFL) Classroom. *Celt: A Journal of Culture, English Language Teaching & Literature*. 17. 45. 10.24167/celt.v17i1.1138.

3. Sarmiento, Simone & Viana, Vander & Bocorny, Ana Eliza. (2018). English for Specific Purposes (ESP).

4. Guedes de Nonohay, Roberto & Gauer, Gustavo. (2018). Integrative approach to cognitive parameters in decision making. *Revista Pensamento Contemporâneo em Administração*. 12. 109. 10.12712/rpca.v12i4.12613.

5. Kumar, Ravi. (2019). Sky has no limit: Career in Aerospace Engineering (Aerospace Engineering Guide).

Teaching English to students of aerospace specialties

Vlasova S.V.

MAI, Moscow, Russia

The choice of methods of teaching foreign language in not language University due to a number of contradictions: the digitalization with its polystructure of reality awareness and temporality of cognitive ability formation; the globalization of society and a demand for uniqueness, synergy of social interactions and the preservation of cultural identity.

To solve these contradictions when teaching foreign languages to students of aerospace specialties, the following are required: 1) a person-oriented approach and the creation of individual learning paths; 2) the principle of continuity of professionally-oriented education; 3) the principle of connecting theory with practice on the basis of pedagogical experiments.

It is necessary to study the possibility of creating groups of students depending on their level of foreign language proficiency and basing on the professional and personal needs of the student. Time management will be a problem, as teachers will need more time for continuous monitoring. There will be a contradiction in the organization of the schedule, because the educational process will involve a whole group of tutors instead of one. Each teacher will be responsible for their own aspect of one learner training or for a whole group of students depending on speciality.

Curriculum should be built for each student in the form of "stairs up", and learners should know what level they must reach by the end of the course. The method of frequent change of teachers should give an excellent effect.

References:

1. Bankozhitenko E.V., Vlasova S.V., Zubanova S.G. Features of scientific and pedagogical approaches in teaching a foreign language to students of technical faculties of MAI (NRU) //Online magazine "World of science" 2017, Volume 5, No2<http://mir-nauki.com/PDF/13PDMN217.pdf> (free access). Title from the screen. Lang. Rus., English
2. Marwan, Ardi. (2017). Implementing Learner-Centered Teaching in an English Foreign Language (EFL) Classroom. *Celt: A Journal of Culture, English Language Teaching & Literature*. 17. 45. 10.24167/celt.v17i1.1138.
3. Sarmiento, Simone & Viana, Vander & Bocorny, Ana Eliza. (2018). English for Specific Purposes (ESP).
4. Guedes de Nonohay, Roberto & Gauer, Gustavo. (2018). Integrative approach to cognitive parameters in decision making. *Revista Pensamento Contemporâneo em Administração*. 12. 109. 10.12712/rpca.v12i4.12613.
5. Kumar, Ravi. (2019). Sky has no limit: Career in Aerospace Engineering (Aerospace Engineering Guide).

Совершенствование механизма управления инвестиционной деятельностью

промышленного концерна

Габуев В.В., Калошина М.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Анализ действующего механизма управления инвестиционной деятельностью одного из крупных отечественных оборонно-промышленных концернов показал, что существующие принципы недостаточно полно учитывают соответствие принимаемых к реализации проектов стратегическим целям компании.

Разработанный механизм управления инвестиционными проектами и программами представляет собой единую систему взаимосвязанных ключевых принципов управления инвестиционной деятельностью, соблюдение которых обеспечивает соответствие принимаемых к реализации проектов всем необходимым требованиям, стратегическую ориентированность принимаемых к реализации инвестиционных проектов, непрерывность актуализации годовых инвестиционных планов и долгосрочной инвестиционной программы. В ходе разработки в механизме были предусмотрены следующие элементы: дифференцированные стратегические цели; соответствие проектов предъявляемым требованиям; актуальность и реализуемость проектов; перспективность и реализуемость проектов; соответствие результатов реализации проектов стратегическим целям; систематичность актуализации набора реализуемых проектов; актуальность действующей инвестиционной программы; реализация каждого проекта; достижение запланированных результатов реализации проектов.

В качестве связей между элементами механизма выступает ряд процессов, описанных с помощью специально разработанных алгоритмов действий всех участников инвестиционной деятельности. Выполнение данных алгоритмов позволит обеспечить соблюдение всех ключевых принципов, заложенных в механизме. Разработаны процедуры, которые связывают элементы механизма: алгоритм формирования инвестиционного портфеля; алгоритм формирования инвестиционной программы; алгоритм формирования инвестиционных планов и бюджетов; алгоритм управления реализацией инвестиционных

проектов; алгоритм корректировки инвестиционного плана; алгоритм актуализации инвестиционной программы.

Исследование содержит разработку системы документирования, ролевые модели участников проекта.

Таким образом, разработанный механизм управления инвестиционной деятельностью промышленного концерна позволяет выстроить целостную управленческую систему, позволяющую интегрировать реализацию инвестиционных проектов всех предприятий Концерна в общую стратегию.

Improvement of the investment management mechanism of an industrial concern

Gabuev V.V., Kaloshina M.N.

MAI, Moscow, Russia

An analysis of the current mechanism for managing investment activities of one of the major domestic military-industrial concerns has shown that the existing principles do not fully take into account the compliance of projects accepted for implementation with the company's strategic goals.

The developed mechanism for managing investment projects and programs is a single system of interrelated key principles of investment management, compliance with which ensures that projects accepted for implementation meet all necessary requirements, strategic orientation of investment projects accepted for implementation, continuity of updating of annual investment plans and long-term investment program. During development, the mechanism included the following elements: differentiated strategic goals; compliance of projects with the requirements; relevance and feasibility of projects; prospects and feasibility of projects; compliance of project results with strategic goals; systematic updating of the set of implemented projects; relevance of the current investment program; implementation of each project; achievement of planned project results.

The links between the elements of the mechanism are a number of processes described using specially developed algorithms for the actions of all participants in investment activities. The implementation of these algorithms will ensure compliance with all the key principles laid down in the mechanism. Developed procedures that link the elements of the mechanism: an algorithm for forming an investment portfolio; an algorithm for forming an investment program; an algorithm for forming investment plans and budgets; an algorithm for managing the implementation of investment projects; algorithm for adjusting the investment plan; algorithm for updating the investment program.

The research includes the development of a documentation system and role models of project participants.

Thus, the developed mechanism for managing the investment activity of an industrial concern allows us to build an integrated management system that allows us to integrate the implementation of investment projects of all the Concern's enterprises into the overall strategy.

Современные технологии в преподавании английского языка будущим специалистам в области аэрокосмонавтики

Галюк Н.А., Иванова Г.А., Никольская Е.Э.

МАИ, г. Москва, Россия

Английский язык является языком международного общения в сфере аэрокосмонавтики. В связи с расширением международных контактов в сфере авиации и космонавтики возрастает значимость подготовки специалистов владеющих английским языком, на уровне необходимом для профессионального общения. Современные интерактивные педагогические технологии, такие как методы использования подкастинга и метод проектов, используемые на учебных мультимедийных платформах, помогают повысить эффективность учебного процесса.

Исследование ставит перед собой цель дать теоретическое и практическое обоснование применения данных интерактивных технологий в обучении студентов английскому языку и выявить достоинства и недостатки их использования.

Теоретической базой исследования послужили труды научных сотрудников кафедры И-14 МАИ и труды других авторов, рассмотревших особенности интерактивных технологий и

специфику их использования в процессе обучения профессионально-ориентированному английскому языку.

Анализ практики применения технологии подкастинга и метода проектов в процессе обучения английскому языку на нашей кафедре, доказал их высокую эффективность. Они развивают у студентов коммуникативные навыки, повышают мотивацию к обучению, формируют способность мыслить неординарно.

Анализ практики использования учебной платформы Microsoft Teams в обучении студентов, позволил выявить преимущества и недостатки on-line обучения. Применение образовательной платформы Microsoft Teams повысило качество преподавания, оптимизировало процесс обучения, предоставило студентам возможность для создания индивидуальных и групповых проектов, проведения конференций. Однако, несмотря на все преимущества обучения on-line посредством образовательных платформ, невозможно обойтись без off-line обучения, без прямого контакта преподавателя со студентами. Мы рекомендуем проводить обучения смешанного типа, позволяющего сочетать традиционные аудиторные занятия с занятиями на базе образовательных платформ, технология подкастинга и метод проектов, как раз и являются, в нашем понимании, теми методами, которые могут обеспечить максимальную эффективность при сочетании online и offline обучения.

В нашем исследовании мы пришли к выводу о целесообразности использования современных инновационных технологий, методов и средств, позволяющих преподавать английский язык на качественно новом уровне.

Modern Technologies in Teaching English to Future Specialists in the Field of Aerospace

Galyuk N.A., Ivanova G.A., Nikolskaya E.E.

MAI, Moscow, Russia

English is the language of international communication in the field of aerospace. Due to the expansion of interethnic contacts, the importance of training specialists fluent English is growing. Today's interactive technologies, methods, and learning tools such as podcasting, projects, training, and multimedia platforms help to decide this problem effectively.

The study aims to provide theoretical and practical justification for the use of these interactive technologies in teaching students English and to identify the advantages and disadvantages of their use.

The theoretical basis of the study was the works of researchers of the Department I-14 of Moscow Aviation Institute, such as Artyushina G.G., Zhurbenko N.L., Neverova N.V., Rybakova L.I., Sheipak O.A. and the works of other authors who considered the features of interactive technologies and the specifics of their use in teaching the English language.

The analysis of the practice of applying podcasting technology and the method of projects in the process of teaching English at our department proved their high efficiency. They develop communication skills of students, increase motivation for learning, and form the ability to think unusually.

An analysis of the practice of using the Microsoft Teams learning platform in teaching students revealed the advantages and disadvantages of on-line learning. The use of the Microsoft Teams educational platform improved the quality of teaching, optimized the learning process, provided students with the opportunity to create individual and group projects, and hold conferences. However, despite all the advantages of on-line learning by means of educational platforms, it is impossible to do without off-line learning, without direct contact of the teacher with students. We recommend blended learning that combines traditional classroom training with platform-based training.

In our study, we came to the conclusion that it is advisable to use modern innovative technologies, methods and tools that allow us to teach English at a qualitatively new level.

Роль аэрононимов в обучении иностранным языкам студентов авиационных вузов

Гюшова Л.М.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время ономастические исследования входят в число самых активно изучаемых областей языкознания.

В данной работе нами рассмотрены аэрононимы – собственные имена летательных аппаратов (ЛА): «Антей», «Илья Муромец», «Иван Ярыгин», «Крокодил» и др.

Определить роль аэрононимов в обучении иностранным языкам нам помог их анализ, в результате которого выявлено 4 этимологические группы: 1. ЛА названные в честь лётчиков, военачальников, командующих: «Александр Новиков», «Павел Таран», 2. в честь авиаконструкторов: «Валентин Близнак», «Игорь Сикорский», Cessna 206, 3. в честь былинных, мифологических героев: Argus (The Fairchild Model 24/UC-61), Hercules (The Lockheed C-130), «Илья Муромец», 4. в честь известных деятелей культуры и искусства, исторических личностей: «Андрей Рублев», «Иван Ярыгин», North American B-25 Mitchell.

Присвоение имен людей летательным аппаратам берет свои корни ещё в начале XX века («Фарман», «Блерио», «Анатра»). Общемировой тенденцией является использование названий авиастроительных компаний и конструкторских бюро для обозначения моделей ЛА (в свою очередь названных в честь их основателей), например, семейства самолётов Boeing (The Boeing Company – основатель William Edward Boeing), Lockheed и Martin (Lockheed Martin Corporation – Allan Lockheed, Glenn Luther Martin), Cessna (Cessna Aircraft Company – Clyde Vernon Cessna), АНТ и Ту (ОКБ им. А.Н. Туполева, ныне ПАО «Туполев»), Ил (ОКБ им. Ильюшина С.В., ныне ПАО «Авиационный комплекс имени С.В. Ильюшина»), МиГ (ОКБ им. А.И. Микояна), Су (ОКБ им. П.О. Сухого), Як (ОКБ им. А.С. Яковлева, ныне ОАО «ОКБ имени А.С. Яковлева») и др.

По итогам проведенного анализа выявлено, что именные самолёты чаще встречаются среди российских ЛА, в то время, как американские ЛА чаще приобретают разговорные названия (Fat Albert (Lockheed C-130 Hercules)/«Толстый Альберт», Кёртисс JN-4 (Curtiss JN-4) – Jennу/«Дженни»). Хотя и среди российских названий есть прозвища ЛА: Ту-154 – «Марья Ивановна»; Ту-154М – «Эмка», «Эммочка».

Таким образом, аэрононимы играют важную роль в процессе обучения студентов авиационных вузов, так как они несут в себе историческую, культурологическую, географическую и социально-политическую информацию и позволяют расширить кругозор и углубить профессиональные знания, способствуют патриотическому воспитанию и отражают богатое культурное наследие.

The role of aeronautonyms in teaching foreign languages to students of aviation universities

Goyushova L.M.

MAI, Moscow, Russia

At present, onomastic research is one of the most actively studied areas of linguistics.

In this paper we focus on aeronautonyms – the proper names of aircraft: "Antey", "Ilya Muromets", "Ivan Yarygin", "Crocodile", etc.

Their analysis helped us to determine the role of aeronautonyms in teaching foreign languages. As a result, 4 etymological groups were identified: 1. aircraft named after pilots, military leaders, commanders: "Alexander Novikov", "Pavel Taran", 2. named in honor of aircraft designers: "Valentin Bliznyuk", "Igor Sikorsky", Cessna 206, 3. in honor of epic, mythological heroes: Argus (The Fairchild Model 24/UC-61), Hercules (The Lockheed C-130), "Ilya Muromets", 4. in honor of famous figures of culture and art, historical figures: "Andrey Rublev", "Ivan Yarygin", North American B-25 Mitchell.

The assignment of names of people to aircraft takes its roots back in the early XX century ("Farman", "Blériot", "Anatra"). A worldwide trend is to use the names of aircraft manufacturers and design bureaus to mark aircraft models, for example, the Boeing aircraft family (The Boeing Company – the founder was William Edward Boeing), Lockheed and Martin (Lockheed Martin

Corporation – Allan Lockheed, Glenn Luther Martin), Cessna (Cessna Aircraft Company – Clyde Vernon Cessna), ANT and Tu (OKB Experimental Design Bureau named after A.N. Tupolev), Il (OKB named after S.V. Ilyushin), MiG (OKB named after A.I. Mikoyan), Su (OKB named after P.O. Sukhoi), Yak (OKB named after A.S. Yakovlev), etc.

Based on the results of the analysis, it was revealed that registered aircraft with personal names are more common among Russian aircraft, while American aircraft more often use nicknames (Fat Albert (Lockheed C-130 Hercules) / "Fat Albert", Curtiss JN-4 (Curtiss JN- 4) – Jenny/"Jenny." Although we can find some Russian examples as well: Tu-154 – "Marya Ivanovna"; Tu-154M – "Emka", "Emmochka".

In conclusion, aeronautonyms play an important part in the educational process of students of aviation universities, since they carry historical, cultural, geographical and socio-political information and allow to broaden your horizons and deepen professional knowledge, they contribute to patriotic education and reflect a rich cultural heritage.

Технологии GR в продвижении гражданской авиационной техники

Гуляев В.В., Тихомиров И.А.

МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день российский внутренний авиационный парк состоит на 90% из иностранных самолетов. Авиастроение в Российской Федерации возможно только при условии комплексного взаимодействия с государственными органами, потому как отрасль требует крупных финансовых вложений на этапе разработки и производства самолетов.

Авиапроизводители и авиаперевозчики существуют в том сегменте бизнеса, в котором обойтись без взаимоотношений с государством никак невозможно. Для конкурентоспособности российских авиакомпаний на российском рынке, а тем более на международной арене, государству необходимо выстраивать двустороннюю коммуникацию с авиационной отраслью в целом.

Все компании производители были объединены в ПАО «ОАК» (Объединенная авиастроительная корпорация), которая является частно-государственной и по сути получается так, что авиапроизводителям в России нет острой необходимости к выстраиванию эффективной коммуникации с органами государственной власти, потому что власть сама очень заинтересована в том, чтобы Россия развивалась в направлении гражданских авиаперевозок, конструировала и производила новые самолеты.

Объединенная авиастроительная корпорация очень много внимания уделяет взаимодействию с органами государственной власти, используя все доступные технологии Government Relations. В то время как российская гражданская авиационная промышленность утрачивает свои экспортные позиции, глобальный рынок авиационной техники претерпевает кардинальные изменения под воздействием многих экономических, политических и технологических факторов.

Мы можем говорить о GR технологии как о целенаправленно организованной деятельности по внедрению GR-коммуникаций.

GR-технологии включают в себя: создание поддержки общественности; оценка работы органов власти; осуществление агитационных кампаний, связанных с предстоящими принятиями решений; проведение различных мероприятий с обязательным участием представителей власти; предоставление информации о государственных контрактах; налаживание коммуникации с участниками комиссий; лоббизм.

Использование GR технологий обусловлено тем, что деятельность в области правительственных отношений предполагает последовательное налаживание взаимовыгодных связей с государственными органами. Благодаря данным технологиям возможно добиться наиболее продуктивной работы, наладить взаимовыгодные и долгосрочные отношения с государством, чтобы государство могло поддержать бизнес, особенно если он является стратегически важным для страны.

GR technologies in the promotion of civil aviation technology

Gulyaev V.V., Tkhomirov I.A.

MAI, Moscow, Russia

Today, 90% of the Russian domestic aviation fleet consists of foreign aircraft. Aircraft construction in the Russian Federation is possible only under the condition of comprehensive interaction with government agencies, because the industry requires large financial investments at the stage of development and production of aircraft.

Aircraft manufacturers and air carriers exist in a business segment in which it is impossible to do without relations with the state. For the competitiveness of Russian airlines in the Russian market, and even more so in the international arena, the state needs to build two-way communication with the aviation industry as a whole.

All manufacturing companies were merged into PJSC UAC (United Aircraft Corporation), which is a public-private and in fact it turns out that aircraft manufacturers in Russia do not have an urgent need to build effective communication with public authorities, because the government itself is very interested in that Russia should develop in the direction of civil air transportation, design and manufacture new aircraft.

The United Aircraft Corporation pays a lot of attention to interaction with government bodies, using all available Government Relations technologies. While the Russian civil aviation industry is losing its export positions, the global aviation market is undergoing dramatic changes under the influence of many economic, political and technological factors.

We can talk about GR technology as a purposefully organized activity for the implementation of GR communications.

GR technologies include: building public support; assessment of the work of the authorities; implementation of agitation campaigns related to the upcoming decision-making; holding various events with the obligatory participation of government officials; providing information on government contracts; establishing communication with members of the commissions; lobbying.

The use of GR technologies is due to the fact that activities in the field of government relations involve the consistent establishment of mutually beneficial relations with government agencies. Thanks to these technologies, it is possible to achieve the most productive work, to establish mutually beneficial and long-term relations with the state, so that the state can support business, especially if it is strategically important for the country.

Уровни жесткости при работе с требованиями в программных продуктах для авиационных проектов

Гуров В.А., Хван А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Опираясь на документ ARP4754a, выпущенный Американской ассоциацией автомобильных инженеров, посвященный процессам разработки авиационных продуктов, известно, что все действия по верификации функциональных требований должны соответствовать требованиям обеспечения функционального развития. Также различные методы верификации требований должны быть сформулированы в соответствии с гарантированным уровнем разработки функций (FDAL) и гарантированным уровнем разработки элемента (IDAL) при работе по верификации требований.

Для программных проектов некоторые роли и обязанности могут быть объединены или даже сокращены из-за отсутствия управляющих кадров. Это может привести к неэффективному управлению и снижению качества продукции. Для авиационного проекта очень важно контролировать все эти роли и обязанности. Отсутствие строгости в таком случае может не только снизить качество продукции, но также может повлиять на уровень безопасности и наличие серьезных проблем в конструкции самолета. Таким образом, мы делаем вывод, что в этой части процессы валидации авиационных и программных проектов схожи, но уровень строгости может быть разным.

Анализ показывает, что многие программные продукты, имеющие функционал по работе с требованиями, например, Siemens Teamcenter в стандартном исполнении не учитывает

авиационную специфику и не имеет никаких дополнительных решений или методов для контроля строгости требований и проверки уровня требований, что является критичным.

В качестве инструмента для решения этой проблемы была создана матрица отслеживания требований в том числе учитывающая уровень гарантированности разработки (FDAL, IDAL). Ее последующее внедрение в программные продукты по работе с требованиями при правильном использовании позволят решить проблему жесткости требований и получить дополнительный инструмент для работы с требованиями.

Rigor levels in requirements management software products for aviation projects

Gurov V.A., Khvan A.V.

MAI, Moscow, Russia

Based on the ARP4754a document issued by the American Association of Automotive Engineers on Aviation Product Development Processes, it is known that all functional requirements verification activities must meet functional development requirements. Also, the various requirements verification methods should be formulated in accordance with the Functional Development Assurance Level (FDAL) and the Item Development Assurance Level (IDAL) for the requirements verification work.

For software projects, some roles and responsibilities may be consolidated or even reduced due to the lack of management personnel. This can lead to poor management and poor product quality. It is very important for an aviation project to control all of these roles and responsibilities. Lack of rigor in this case led to lower product quality. Also following consequences can affect the product safety level and lead to serious problems in the aircraft structure. Thus, we conclude that in this part, the validation processes of aviation and software projects are similar, but the level of rigor should be different.

The analysis shows that many software products that have functionality for working with requirements, for example, Siemens Teamcenter in the standard version does not take into account the aviation specifics and does not have any additional solutions or methods for controlling the severity of requirements and checking the level of requirements, which is critical.

As a tool to solve this problem, a requirements tracking matrix was created, including taking into account the level of development assurance (FDAL, IDAL). Its subsequent implementation in software products for working with requirements, if used correctly, will be able to solve the requirements rigor problem and get an additional tool for working with requirements.

Формирование систем оплаты труда на предприятиях, занимающихся выпуском сложной наукоемкой продукции, с учетом особенностей организационных структур управления

Дегтярев Ю.А., Бунак В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Для разработки и внедрения эффективной системы материального стимулирования на первоначальном этапе необходимым условием является изучение вопроса особенностей построения организационной структуры управления (ОСУ) предприятием.

Для организаций, занимающихся выпуском сложной наукоемкой продукции, наибольший практический интерес представляет изучение подходов формирования систем материального стимулирования в условиях ОСУ, выстроенных по матричному типу, поскольку:

1. Он в наибольшей степени соответствует по своим характеристикам для предприятий, обладающих широко диверсифицированной продуктовой линейкой и имеющих значительную долю НИОКР в общем портфеле заказов;
2. Позволяет выстраивать организационные процессы по принципу двойного подчинения исполнителей: с одной стороны, непосредственно функциональному руководителю, с другой – менеджеру проекта, координирующему деятельность работников по определенному направлению (проекту, теме), что является крайне важным с точки зрения организации системного подхода по распределению ресурсов, в том числе фонда заработной платы.

Системы оплаты труда, сформированные в условиях матричной структуры управления, позволяют решать следующие задачи:

контролировать в текущем периоде времени уровень загрузки работами по каждому подразделению-исполнителю;

мотивировать руководителя подразделения в максимизации объемов работ своего подразделения;

осуществлять перераспределение фонда заработной платы среди непосредственных исполнителей работ внутри подразделения в зависимости от личного трудового вклада в общие результаты деятельности;

формировать отчетные документы для заказчика с детализацией работ в части трудоемкости и продолжительности по каждому подразделению-исполнителю.

Используя изложенные подходы, в перспективе представляется возможным построение эффективной комплексной системы материального стимулирования, состоящей из взаимосвязанных между собой подсистем оплаты труда для различных категорий работников.

Formation of remuneration systems at enterprises engaged in the production of complex high-tech products, taking into account the features of organizational management structures

Degtyarev Y.A., Bunak V.A.

MAI, Moscow, Russia

To develop and implement an effective system of financial incentives at the initial stage, it is necessary to study the features of building an organizational management structure (OMS) of an enterprise.

For organizations engaged in the production of complex high-tech products, the greatest practical interest is the study of approaches to the formation of financial incentive systems in the conditions of OMS, built on a matrix type, since:

1. It is most consistent in its characteristics for enterprises with a widely diversified product line and having a significant share of scientific research in the total portfolio of orders;

2. Allows you to build organizational processes on the principle of double subordination of performers: on the one hand, directly to the functional Manager, on the other – to the project Manager, who coordinates the activities of employees in a certain direction (project, topic), which is extremely important from the point of view of organizing a systematic approach to the distribution of resources, including the payroll.

Remuneration systems formed in the conditions of a matrix management structure allow us to solve the following tasks:

1. control the level of work load for each Executive division in the current time period;

2. motivate the division Manager to maximize the volume of work of their division;

3. redistribute the salary Fund among direct performers of work within the division, depending on the personal labor contribution to the overall results of activities;

4. generate accounting documents for the customer with details of the work in terms of labor intensity and duration for each division-performer.

Using these approaches, in the future it is possible to build an effective comprehensive system of financial incentives, consisting of interconnected subsystems of remuneration for various categories of employees.

Корпоративная стандартизация как инструмент повышения качества высокотехнологичной продукции

¹Денискина А.Р., ²Абраменков Г.В., ²Новиков И.С., ¹Денискин Ю.И.

¹МАИ, ²Роскосмос, г. Москва, Россия

В настоящее время продукция высокотехнологичных отраслей промышленности, как правило, является результатом деятельности широкой кооперации, включающей заказчика, головного исполнителя, поставщиков различных уровней.

С учетом трендов цифровой трансформации, перехода к индустрии 4.0, развития производственных систем предприятий, применения инновационных технологий и

материалов, а также создания отраслевых многоуровневых корпоративных и интегрированных структур управления особую значимость приобретает решение вопросов стандартизации как ключевого инструмента повышения качества и надежности высокотехнологичной продукции.

По результатам анализа деятельности в области стандартизации корпоративных структур разработана инвариантная модель процессов стандартизации корпорации, включающая процессы планирования работ по стандартизации, международной, межгосударственной, национальной, отраслевой стандартизации, участия в военной стандартизации.

Принимая во внимание значительный объем работ в указанных процессах стандартизации, а также длительность (от 6 месяцев) разработки и утверждения соответствующих стандартов (ИСО, МЭК, ГОСТ, ГОСТ Р, ГОСТ РВ, ОСТ), составляющих отраслевые фонды стандартов, становится актуальным развитие процессов стандартизации в высокотехнологичных отраслях промышленности.

В рамках реализации проекта развития системы стандартизации на отраслевом, корпоративном уровне целесообразно решать в первую очередь задачи: анализ состояния фонда документов по стандартизации, разработка модели процессов стандартизации корпорации и создание системы корпоративной стандартизации и др.

Практическая реализация такого проекта развития, запуск эффективного инструмента корпоративной стандартизации, применение в этой сфере цифровых технологий уже сегодня позволили достичь значительных результатов, таких как:

- 100% фонда документов по стандартизации всех уровней актуализированы и переведены в цифровой, машиночитаемый формат.
- Срок актуализации всего фонда стандартов не превышает 10 лет.
- 100% пользователей стандартов имеют доступ ко всем стандартам фонда в любой момент времени.
- Срок разработки и актуализации стандартов сокращен в 3 раза, в том числе благодаря применению корпоративной стандартизации.

Возможность своевременного утверждения стандарта и обеспечение к нему оперативного доступа заинтересованных участников кооперации существенно влияет на качество создаваемой высокотехнологичной продукции.

Corporate standardization as tool for quality improving of high-technology products

¹Deniskina A.R., ²Abramenkov G.V., ²Novikov I.S., ¹Deniskin Y.I.

¹MAI, ²ROSCOSMOS, Moscow, Russia

Nowadays, high-tech industries products, as a rule, are the result of a broad cooperation, which includes the customer, the contractor, and different tiers suppliers.

Taking into account ongoing digital transformation, industry 4.0 deployment, enterprises production systems development and improvement, implementation of new technologies and new materials usage, as well as the creation of multi-level corporate and integrated management structures, the standardization turns to a key tool for quality and reliability improving of high-tech products.

As a result of activities analysis in the area of corporate standardization, have been designed corporate invariant process model of standardization which includes such, fields of standardization as: planning of standardization activities, international, CIS countries, national, inter-branch standardizations, participation in military standardization.

Huge volume of work in these standardization processes, as well as the not small at all the duration (from 6 months) of development and approval of the relevant standards (ISO, IEC, GOST, GOST R, GOST RV, OST, what makes industry (corporate) funds of standards), lead to a necessity of development and deployment of standardization processes in high-tech industries.

On the way of the development and deployment standardization system project at the industry and corporate level, it is expected that the following issues will be resolved firstly: status analysis of the standardization documents fund, processes model of corporate standardization development and corporate standardization system creation, etc.

The practical implementation of such development project, the launch of an effective tool for corporate standardization, and the implementation of digital technologies in this area have already led to achieve significant results, such as:

- 100% of the fund of documents on standardization at all levels are updated and transferred into a digital and machine-readable format.
- The period of updating the entire fund of standards does not exceed 10 years.
- 100% of standards users have access to whole fund of standards on 24/7 basis.
- The period of development and update standards has been reduced by 3 times, including due to the corporate standardization implementation.

The possibility of timely approval of the standard and ensuring prompt access to it for whole cooperation significantly affects the quality of high-tech products.

Технологические платформы в авиационном коммуникационном пространстве

Дубинина Н.М., Бубнов В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Элементом современной экономики является рынок инновационных услуг. Одним из инструментов продвижения таких услуг является технологическая платформа.

Технологическая платформа – это коммуникативная площадка, где хозяйственные агенты взаимодействуют по вопросам инновационной деятельности, осуществляя научное сотрудничество, работу над бизнес-проектами.

Важнейшее назначение технологических платформ – обеспечение технологической независимости, поддержка инновационного развития хозяйственной системы государств через создание современной системы научных коммуникаций.

Технологические платформы появились в авиационной сфере, когда в ходе разработки Airbus A380 потребовались новые механизмы научно-практической кооперации в инновационной деятельности. Первая такая платформа – ACARE. На начальном этапе своего существования она внесла заметный вклад в разработку и налаживание производственно-сбытовой деятельности Airbus A380 и Falcon 7X.

Примером реализации рамочных программ технологических исследований, их коммуникативной поддержки в ходе работы ACARE в первые десятилетия XXI в. служит возникшее государственно-частное партнерство (между ЕС и авиационном бизнесом) «Чистое небо» (CleanSky). Цель этого партнерства – управление и финансирование исследовательской деятельности по повышению экологической чистоты европейских самолетов. Одним из множества успешных проектов технологической платформы является финансирование и разработка современного винтовентиляторного двигателя (с учетом советско-российского опыта), который позволяет сократить расход топлива и выбросы CO₂ на 30% по сравнению с нынешними двигателями CFM56. В 2017 году концерн Safran – участник проекта, используя возможности технологической платформы ACARE, доказал валидность (валидацию) компонентов нового двигателя.

В России функционируют технологические платформы «Авиационная мобильность и авиационные технологии», «Национальная космическая технологическая платформа» и ряд других, затрагивающих актуальные проблемы инновационного развития авиационной отрасли.

Таким образом, единое коммуникационное пространство инноваций в авиационной сфере, элементом которого является технологическая платформа, позволяет эффективно решать насущные проблемы развития отрасли.

Technology Platforms in Aircraft-Building Communication Space

Dubinina N.M., Bubnov V.V.

MAI, Moscow, Russia

One of the constituents of modern economy is the market of innovation services. A technology platform is one of the tools for providing such services.

A technology platform is a communicative venue where economic agents interact with regard to innovation activities, being engaged in scientific cooperation and working upon business projects.

The primary objective of technology platforms is to ensure technological self-sufficiency and to support innovative development of the economic systems of states through the creation of a modern system of scientific communication.

Technology platforms appeared in aviation when the development of Airbus A380 required new mechanisms of scientific and practical cooperation in the field of innovation activities. The first platform of the kind was ACARE. At the early stage of its existence, it made a notable contribution to the development of Airbus A380 and Falcon 7X and the organisation of the related manufacturing and distribution operations.

An example of the implementation of framework programmes for technological studies and their communication support in the course of the work of ACARE during the first decades of the 21st century is the public-private partnership (between the EU and aviation business) Clean Sky. This partnership has a goal of managing and financing research activities aimed at making European aircraft more environmentally-friendly. One of the many successful projects of the technology platform is the financing and development of a modern propfan engine (based on the Soviet-Russian experience), which reduces fuel consumption and CO₂ emissions by 30 percent compared to the currently-used CFM56 engine. In 2017 the Safran group, which participates in the project, used the capabilities of the ACARE technology platform to prove validity (validation) of the components of the new engine.

The following technology platforms operate in Russia: Air Mobility and Aviation Technologies, National Space Technology Platform and many others addressing current challenges of the innovative development of the aircraft industry.

In summary, integrated communication space of innovation in aviation, having a technology platform among its constituents, helps to provide an effective solution to pressing issues related to the development of the industry.

Контроллинг как механизм управления экономической безопасностью предприятия

Дубинский М.О.

МАИ, г. Москва, Россия

Основной целью исследования является разработка механизма контроллинга для обеспечения приемлемого уровня экономической безопасности в условиях цифровой экономики.

При высоких темпах развития международных отношений, информационных технологий, развитием тенденций к глобализации все более актуальной становится вопрос экономической безопасности, как правило, отождествляемой с системой национальной безопасности, а не отдельной её составляющей.

На сегодняшний день, происходит дальнейшее развитие вопросов обеспечения безопасности, появляются новые теоретические взгляды на экономическую безопасность предприятий и формируются понятие экономической безопасности организации – то есть обеспечение возможности развиваться и работать в условиях изменчивости внутренней и внешней среды. Другими словами, поддержание состояния защищенности для благоприятного роста и развития организации, с предотвращением появления критических внутренних и внешних угроз для научно-технического, технологического, производственного и кадрового потенциала предприятия.

В условиях развития высокотехнологичных отраслей промышленности, когда появляются новые бизнес-процессы, расширяются возможности в аналитике, а получение своевременно актуальных данных является конкурентным преимуществом возникает необходимость в наиболее эффективном обеспечении уровня экономической безопасности и использовании управленческого потенциала на предприятии. Создание систем контроллинга, является одним из подходящим для этого механизмом, способствует повышению качества принимаемых решений по средствам координации стратегического и операционного управления, особенно в условиях цифровизации.

Контроллинг можно охарактеризовать, как сложную, функциональную и многогранную систему, использующую широкий спектр инструментов для координации, интеграции и оптимизации деятельности системы управления для достижения целей предприятия.

Controlling as a mechanism for managing the economic security of an enterprise

Dubinskii M.O.

MAI, Moscow, Russia

The main goal of the research is to develop a controlling mechanism to ensure an acceptable level of economic security in the digital economy.

With the rapid development of international relations, information technologies, and the development of trends towards globalization, the issue of economic security, which is usually identified with the national security system, rather than its separate component, is becoming more and more urgent.

Today, there is a further development of security issues, new theoretical views on the economic security of enterprises are emerging and the concept of economic security of the organization is being formed – that is, ensuring the ability to develop and work in a changing internal and external environment. In other words, maintaining a state of security for the favorable growth and development of the organization, while preventing the emergence of critical internal and external threats to the scientific, technical, technological, production and human resources potential of the enterprise.

In the development of high-tech industries, new business processes, expand capabilities in Analytics, and obtaining timely and relevant data is a competitive advantage arises the need in the most effective provision of economic security and use of management capacity in the enterprise. The creation of controlling systems is one of the most suitable mechanisms for this, and it helps to improve the quality of decisions made by means of coordinating strategic and operational management, especially in the context of digitalization.

Controlling can be described as a complex, functional and multi-faceted system that uses a wide range of tools to coordinate, integrate and optimize the management system to achieve the goals of the enterprise.

Выставочная деятельность как инструмент продвижения мировых достижений в российской авиационной отрасли

Думбадзе Л.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В современной России, в условиях конкуренции и развития выставочной деятельности присутствует многообразие на выставках в сфере авиастроения, которые подразделяют по типу промышленности: военная, гражданская и бизнес-авиация и смешанная. Что касается выставочной деятельности авиационной промышленности, то на широкую общественность рассчитано только две основные российские выставки – Армия и МАКС.

Армия – это масштабный смотр новейших разработок оборонной промышленности, собирающий российских и зарубежных специалистов. Она служит востребованной площадкой для обсуждения вопросов военно-технического сотрудничества и, конечно, содействует укреплению партнерских контактов между оборонными ведомствами разных стран. Данная выставка является специализированной и узкопрофильной, соответственно не всем данная отрасль представляется интересной. К тому же, это сделать эту выставкой интересной для любой аудитории не представляется возможным, так как в эту отрасль необходимо вникнуть, изучить какие-то основы.

МАКС – самая массовая выставочная площадка в России, объединяющая в себе выставочную программу, тематические образовательные, спортивные и патриотические мероприятия для широкого круга населения. Уникальная площадка, включающая в себя динамический показ и статистическую экспозицию военной техники, которая не может быть представлена за границей; аэродром, позволяющий демонстрацию предельных летных характеристик военных и гражданских летательных аппаратов, невозможную ни на одном авиасалоне мира, а также ярчайшую летную программу – визитную карточку МАКСа.

Рекордным по сумме контрактов стал 2013 год, когда участники МАКСа заключили сделки на 21,2 млрд. долларов, значительную часть из которых составили заказы на 96 самолетов Сухой Суперджет 100 и 82 узкофюзеляжных самолета МС-21.

Подводя итог, можно сказать, что основная концепция выставочной деятельности – представить каждому экспоненту широчайшие возможности для презентации своей компании и дать шанс представить общественности последние инновационные разработки в определенной отрасли. Взаимодействие экспонентов с органами государственной власти, а также лидеров отраслевых рынков направлено на поддержку отечественной промышленности и налаживание долгосрочных деловых отношений.

Exhibition activities as a tool for promoting global achievements in the Russian aviation industry

Dumbadze L.A.

MAI, Moscow, Russia

In modern Russia, in the conditions of competition and the exhibition activities development, there is a variety of exhibitions in the field of aircraft construction, which are divided according to the industry type: military, civil and business aviation and mixed. As for the exhibition activities of the aviation industry, only two main Russian exhibitions – Army and MAKS – are designed for the general public.

The Army is a large-scale review of the latest developments in the defense industry, bringing together Russian and foreign specialists. It serves as a popular platform for discussing issues of military-technical cooperation and helps to strengthen partnerships between defense different countries departments. This exhibition is specialized and narrow-profile, so not everyone is interested in this industry. In addition, it is not possible to make this exhibition interesting for any audience, since it is necessary to delve into this industry, study some basics.

MAKS is the largest exhibition area in Russia, combining an exhibition program, educational, sports and patriotic events for a wide range of people. A unique platform that includes a dynamic display and statistical exposition of military equipment that cannot be presented abroad; an airfield that allows the demonstration of the ultimate flight characteristics of military and civil aircraft, impossible at any air show in the world, as well as the brightest flight program – the hallmark of MAKS. 2013 was a record year in terms of the contracts amount, when MAKS participants concluded deals for 21.2 billions of dollars, a significant part of which were orders for 96 Sukhoi Superjet 100 aircraft and 82 narrow-body MS-21 aircraft.

Summing up, we can say that the main concept of exhibition activities is to provide each exhibitor with the widest opportunities for presenting their company and give the public a chance to present the latest innovative developments in a particular industry to the public. The interaction of exhibitors with government authorities, as well as leaders of industry markets is aimed at supporting the domestic industry and establishing long-term business relationships.

Оптимизация логических операций при управлении цепями поставок

Ермолаева Е.Н., Чекомазов В.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время интегрированная логистическая поддержка несет в себе большие возможности для грамотного управления цепочкой поставок авиационных комплектующих. Поскольку стоимость жизненного цикла напрямую зависит от способа реализации интегрированной логистической поддержки, ее необходимость становится все более очевидной для производителей.

Однако использование логистических операций и технологий требует консолидации усилий большого числа участников всего производственного процесса. Логистические инструменты в рамках управления цепочками поставок авиационных запчастей сталкиваются с различными проблемами, например, сложное взаимодействие между отделами и контрагентами.

Получается, что для достижения максимального уровня эффективности логистических операций крайне важно задействовать инструменты управления цепочками поставок. Все это делает актуальным создание интегрированного отраслевого PLM/SCM-решения.

Основные проблемы, связанные с управлением поставками авиационных деталей, выявляются в ходе практических логистических операций. Для их решения необходимо принять ряд важных мер, в том числе использовать логистические информационные технологии для координации межотраслевого взаимодействия, изучить опыт других стран и использовать новые подходы к поставкам авиационной техники, обеспечивающие эффективное использование ресурсов авиакомпаний.

Вопрос также затрагивает тему технологий, которые можно применить для решения задачи оптимизации логистических операций. Сегодня некоторые задачи логистического обеспечения успешно решаются за счет интеграции CALS и SCM технологий. Также важно понимать необходимость интеграции не только со стороны производителей, но и со стороны авиатранспортных и инфраструктурных компаний.

Таким образом, открытая архитектура информационной системы может обеспечить высокую оперативность и эффективность поставок авиационной техники. Создание модели межотраслевой системы ресурсоснабжения на основе комплексного логистического обеспечения позволит в перспективе вытеснить с рынка несертифицированные запчасти и недобросовестных поставщиков; снизить затраты авиакомпаний и многое другое.

Optimization of logical operations in supply chain management

Ermolaeva E.N., Chekomazov V.G.

MAI, Moscow, Russia

Nowadays the integrated logistics support carries with it a great opportunity for a competent supply chain management of aircraft components. Since the cost of the life cycle directly depends on the way integrated logistics support is implemented, its need becomes more obvious for manufacturers.

However, the usage of logistics operations and technologies requires the consolidation of efforts of a large number of participants in the production process. Logistics tools in the framework of aviation parts supply chain management face various challenges, such as complex interaction between departments and contractors.

It turns out that in order to achieve the maximum level of efficiency of logistics operations, it is so important to involve supply chain management tools. All this case, it makes relevant to create an integrated industry PLM/SCM solution.

The main problems associated with managing the supply of aircraft parts are identified in the course of practical logistics operations. To solve them all, it is necessary to take a number of important measures, including the usage of logistics information technologies to coordinate inter-industry interaction, study the experience of other countries and use new approaches to the supply of aviation equipment that ensure the effective use of airline resources.

The question also touches the topic of technologies that we can apply to solve the problem of optimizing logistics operations. Today some logistics support tasks are successfully solved by integrating CALS and SCM technologies. It is also important to understand the need for integration not only on the part of manufacturers, but also on the part of air transport and infrastructure companies.

To sum up, the open architecture of the information system can ensure high responsiveness and efficiency of aviation equipment's deliveries. Creating a model of an intersectoral resource supply system based on integrated logistics support will allow in the future to displace non-certified spare parts and unscrupulous suppliers from the market; reduce airline costs, and more.

Организация производства в аэрокосмической промышленности и объектовый подход

Еропкин А.М., Мезина Н.А., Зубеева Е.В., Асеева В.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В последние годы не утихают разговоры о переизбытке подготовки в стране экономистов и управленцев. Такие выводы имеют под собой две основные причины. Во-первых, введение двухуровневой подготовки бакалавр-магистр привело к появлению множества коммерческих вузов, «штампующих» бакалавров экономистов, для которых наличие диплома о высшем образовании является лишь имиджевым фактором. Во-вторых, сокращение подготовки с пятилетнего периода до четырех лет привело к исчезновению из учебных планов объектовой направленности подготовки. Никому не приходит в голову в педагогических вузах готовить учителей без предметной специализации или «обобщенно» учить будущих врачей. Но ведь и экономические процессы, например, в машиностроении, имеют свои особенности по сравнению, с атомной, нефтегазовой, химической отраслями.

Для наукоемких и высокотехнологичных отраслей, к которым относятся авиационная и ракетно-космическая отрасли подготовка экономистов и управленцев без отраслевой привязки губительна. Персонал таких предприятий, работающих в цехах и отделах НИИ, разрабатывающих и серийных предприятий, стремительно стареет, а приток новых кадров минимальный. Это связано с невысокой престижностью, в том числе, часто из-за невысокой оплаты труда таких работников. Вторая причина связана с длительным периодом адаптации экономистов, не имеющих отраслевой ориентации. Эта причина связана с тем, что в учебных планах экономистов и управленцев непосредственно с производственной деятельностью связано очень мало дисциплин, но и те, оказались, по сути, выхолощены, так как должны опираться на представление студентами конструктивных особенностей техники и технологических процессов их производства. Сложность авиационной и ракетно-космической техники и технологий требуют перенести объектовую часть подготовки экономистов в стены высших учебных заведений. И здесь достаточно вспомнить опыт советской высшей школы, который был фактически уничтожен переходом к четырехлетнему обучению. Целесообразно, переосмыслив, сегодняшние реалии вернуться к пятилетнему обучению экономистов и управленцев, используя добавленные 20% учебного времени на изучение техники и технологий предприятий наукоемких и высокотехнологичных отраслей. Эта часть подготовки должна предвшаться дисциплинами общинженерного и конструкторско-технологического цикла, пусть и в меньшем объеме, чем это дается для инженеров, а как следствие в выпускных квалификационных работах вновь должна появиться технико-технологическая часть.

Organization of production in the aerospace industry and object approach

Eropkin A.M., Mezina N.A., Zubeeva E.V., Aseeva V.A.
MAI, Moscow, Russia

In recent years, there has been a lot of talk about the over-training of economists and managers in the country. There are two reasons for this conclusion. First, the introduction of two-level bachelor-master training has led to the emergence of many commercial universities that "stamp" bachelor's degrees in Economics, for which the presence of a diploma is only an image factor. Secondly, the reduction of training from a five-year period to four years has led to the disappearance of object-oriented training from the curriculum. No one in pedagogical universities trains teachers without subject specialization or "generically" teaches future doctors. But economic processes, for example, in mechanical engineering, have their own characteristics in comparison with the nuclear, oil and gas, and chemical industries.

For science-intensive and high-tech industries, such as aviation and rocket and space, the training of economists and managers without an industry reference is disastrous. The staff of such enterprises is rapidly aging, and the influx of new personnel is minimal. This is due to low prestige, often due to the low pay of such employees. The second reason is related to the long period of adaptation of economists who do not have an industry orientation. This reason is due to the fact that

in the curricula of economists and managers, very few disciplines are directly related to production activities, but even those that were, in fact, emasculated, since they should be based on students' understanding of the design features of equipment and technological processes of their production. The complexity of aviation and rocket and space technology requires transferring the object part of the training of economists to the walls of higher educational institutions. And here it is enough to recall the experience of the Soviet higher school, which was actually destroyed by the transition to four-year training. It is advisable to rethink the current realities and return to the five-year training of economists and managers, using the added 20% of the training time to study the technology and technology of knowledge-intensive and high-tech industries. This part of training should be preceded by disciplines of General engineering and design and technological cycle, even if in a smaller volume than it is given for engineers, and as a result, the technical and technological part should appear again in the final qualification works.

Современный подход к затратам на качество (PAF-модель)

Ершова И.М., Денискина А.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

В условиях высокой конкуренции на современном рынке, компаниям необходимо предоставлять высококачественные продукты или услуги, чтобы оставаться привлекательными для потребителей. На сегодняшний день качество стало одним из решающих конкурентных факторов. Однако, поддержание необходимого уровня качества, требует определенных затрат от компании. В связи с этим, две основные бизнес-цели производителей противоречивы: максимизировать качество своей продукции или услуги и минимизировать затраты.

В настоящий момент не существует единого общепризнанного определения затрат на качество и составляющих его элементов затрат. Первое формальное определение стоимости качества сформулировано Дж. Джураном и включает в себя затраты, которых можно было бы избежать, в случае отсутствия каких-либо дефектов. Однако, с тех пор концепция затрат на качество претерпела ряд изменений и доработок. Так Ф. Кросби был первым, кто разделил затраты на качество на затраты на соответствие и несоответствие. Модель PAF А. Фейгенбаума считается последним теоретическим нововведением в теории затрат на качество, и с момента ее принятия Американским обществом по контролю качества широко используется. Сумма затрат на предупреждение, затрат на оценку и затрат, связанных с внутренними и внешними отказами, составляет общие затраты на качество.

На многих предприятиях подробный учет затрат на качество и тем более их анализ проводится, в основном, только по внешнему отказу, то есть изделия, вышедшие из строя во время эксплуатации. По данным Института обеспечения качества в Великобритании (Institute of Quality Assurance), Американское общество по управлению качеством (American Society for Quality Control) и Европейская организация по качеству (European Organisation for Quality), типичное разделение затрат на качество в области машиностроения имеет соотношение: 70 % – затраты на устранение дефектов; 25% – затраты на контроль и 5 % – затраты на предупредительные меры.

Система PAF способна обеспечить точный и детальный учёт затрат для достижения надлежащего уровня качества и повысить ответственность за качество на всех этапах жизненного цикла изделий. Что способствует определению конкретных действий по проверке и мерам по обеспечению качества продукции в проводимых мероприятиях в организации. Согласно принципам менеджмента качества, постоянное улучшение деятельности организации в целом необходимо определять, как ее обязательную цель.

Modern approach to costs of quality

Ershova I.M., Deniskina A.R.

MAI, Moscow, Russia

In today's highly competitive marketplace, companies need to provide high quality products or services in order to remain attractive to consumers. Today, quality has become one of the decisive competitive factors. However, maintaining the required level of quality requires certain costs from

the company. In this regard, the two main business goals of manufacturers are conflicting: to maximize the quality of their products or services and to minimize costs.

At the moment, there is no single generally accepted definition of the cost of quality and its component costs. The first formal definition of the cost of quality was formulated by Juran and includes costs that could have been avoided in the absence of any defects. However, since then the concept of quality costs has undergone a number of changes and improvements. Thus Crosby was the first to divide the cost of quality into the cost of conformity and nonconformity. Feigenbaum's PAF model is considered the latest theoretical innovation in the theory of quality costs, and has been widely used since its adoption by the American Society for Quality Control. The sum of the cost of prevention, the cost of evaluation, and the cost of internal and external failures is the total cost of quality.

At many enterprises, a detailed accounting of quality costs and, moreover, their analysis is carried out, basically, only for external failure, that is, products that have failed during operation. According to the Institute of Quality Assurance, the American Society for Quality Control and the European Organization for Quality, the typical cost sharing for quality in mechanical engineering is 70% – costs of eliminating defects; 25% – costs of control and 5% – costs of preventive measures.

The PAF system is able to provide accurate and detailed cost accounting to achieve an appropriate level of quality and increase responsibility for quality at all stages of the product life cycle. Which contributes to the definition of specific verification actions and measures to ensure product quality in the activities carried out in the organization. According to the principles of quality management, continuous improvement of the organization's performance as a whole must be defined as its mandatory goal.

Молодые ученые как источник появления высокотехнологичной продукции на предприятиях ракетно-космической промышленности

Загидуллин Р.С., Капустин А.И.

Самарский университет, г. Самара, Россия

В настоящее время Россия, как мировая космическая держава, уступает свои лидерские позиции на международной космической арене. Так, например, в 2019 году по количеству запусков ракет космического назначения Россия заняла третье место, совершив всего 22 запуска. В свою очередь, Китай произвел 34 запуска и заняла первое место, практически завершив развертывание глобальной навигационной системы «Бэйдоу-3». И наконец, США произвели 27 запусков ракет космического назначения, соответственно, заняв второе место. Еще большее отставание наблюдается в количестве космических аппаратов на околоземной орбите.

Одной из главных причин успеха США и Китая на международной космической арене является «агрессивное» внедрение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. С каждым годом американские и китайские компании-производители ракетно-космической техники (РКТ) наращивают в своих изделиях количество деталей из композитных материалов или детали, изготовленных с использованием 3D-печати, используют технологии искусственного интеллекта и тем самым создают высокотехнологичную инновационную продукцию.

Для возврата позиции лидера отечественным предприятиям-производителям РКТ помогут молодые ученые, ведь именно они являются источниками инновационных идей и технологий. Как правило, молодые ученые после защиты диссертации внедряют результаты своих научно-исследовательских работ в производство отечественных предприятий ракетно-космической промышленности (РКП), тем самым способствуя выпуску высокотехнологичной продукции. Для привлечения молодых ученых на предприятия РКП кроме финансовых вопросов необходимо решать вопросы формализации и бюрократизации работы ученых. Важно отметить, что в настоящее время отечественные предприятия РКП активно занимаются вышеуказанными вопросами.

Таким образом, привлечение молодых ученых на предприятия РКП ведёт к росту количества инновационных идей и технологий и поможет российскому космосу вновь завоевать лидирующее положение на мировом космическом рынке.

Young scientists as a source of the emergence of high-tech products at the enterprises of the rocket and space industry

Zagidullin R.S., Kapustin A.I.

Samara University, Samara, Russia

At present, Russia, as a world space power, is giving up its leading positions in the international space arena. So, for example, in 2019, in terms of the number of launches of space rockets, Russia took third place, having made only 22 launches. In turn, China made 34 launches and took first place, practically completing the deployment of the Beidou-3 global navigation system. Finally, the United States launched 27 space rocket launches, ranking second, respectively. An even greater lag is observed in the number of spacecraft in near-earth orbit.

One of the main reasons for the success of the United States and China in the international space arena is the "aggressive" implementation of research and development work. Every year, American and Chinese manufacturers of rocket and space technology are increasing in their products the number of parts made of composite materials or parts made using 3D printing, using artificial intelligence technologies, and thereby creating high-tech innovative products.

Young scientists will help domestic manufacturers of rocket and space technology to regain their leadership position, because they are the sources of innovative ideas and technologies. As a rule, after defending a dissertation, young scientists introduce the results of their research into the production of domestic enterprises of the rocket and space industry, thereby contributing to the release of high-tech products. To attract young scientists to the enterprises of the rocket and space industry, in addition to financial issues, it is necessary to resolve the issues of formalization and bureaucratization of the work of scientists. It is important to note that at present domestic enterprises of the rocket and space industry are actively engaged in the above issues.

Thus, the attraction of young scientists to the enterprises of the rocket and space industry leads to an increase in the number of innovative ideas and technologies and will help the Russian space to regain its leading position in the world space market.

Бережливое производство как динамический инструментальный повышения эффективности операционных систем

Захарова Л.Ф., Алдошкина Е.П., Гордуков Д.А., Симакова А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Современная экономика сталкивается с вызовами глобального характера, связанными с перепроизводством продукции старых технологических укладов, необходимостью использования новых научно - технических знаний для удовлетворения общественных потребностей. Эта проблема особенно значима для наукоемких высокотехнологичных отраслей, реализующих в соответствии с концепцией Индустрия 4.0 программы цифровизации всех процессов производственно-хозяйственной деятельности предприятий. Автоматизированные производства требуют финансовых и интеллектуальных вложений. Для обеспечения конкурентоспособности традиционных и относительно новых производств, связанных с модификациями товаров, мировыми производителями используется стратегия снижения издержек по всей цепочке создания добавленной стоимости, реализуемая концепцией «бережливого производства». В наукоемких отраслях экономики залогом эффективности использования инструментария бережливого производства является инновационная продукция, стратегически конкурентоспособная на мировых рынках, реализующая концепцию активного производства, где используются ресурсы, качественно отличные от традиционных производств. Бережливые технологии в наукоемкой сфере рассматриваются как динамический инструментальный повышения эффективности инновационного производства, которое не приспособляется к рынку, а активно на него воздействует, используя наработки отечественного школ: научной организации труда (НОТ), производства и управления. Аппарат бережливого производства должен постоянно

обновляться и адаптироваться под специфику условий их использования, а не рассматриваться как статичный набор инструментов и методов. Инструментарий бережливого производства в настоящее время не получает должной поддержки «снизу» в виде необходимых мер его применения, в частности, мер по совершенствованию систем организационно-технического нормирования, расчета календарно-плановых, трудовых и других нормативов, составляющих основу эффективного использования всех задействованных на разработку, освоение и производство продукции ресурсов.

В работе анализируется опыт внедрения методов бережливого производства на отечественных предприятиях промышленности, предлагаются меры по совершенствованию механизмов практической реализации лин-технологий на основе системного, комплексного подхода, концепции активного производства, формирующей стратегические конкурентные преимущества отечественных наукоёмких предприятий на мировых рынках.

Бережливое производство как динамический инструментальный повышения эффективности операционных систем Lean manufacturing as a dynamic tool for improving the efficiency of operating systems

Zakharova L.F., Aldoshkina E.P., Gorbkov D.A., Simakova A.V.

MAI, Moscow, Russia

The modern economy is facing challenges of a global nature associated with the overproduction of products of old technological modes, the need to use new scientific and technical knowledge to meet social needs. This problem is especially significant for knowledge-intensive high-tech industries that implement, in accordance with the Industry 4.0 concept, programs for the total digitalization of all processes of production and economic activities of enterprises. To ensure the competitiveness of traditional and relatively new industries associated with product modifications, global manufacturers use a strategy of total cost reduction along the entire value-added chain, implemented by the concept of "lean manufacturing". In knowledge-intensive sectors of the economy, the key to effective use of lean manufacturing tools is innovative products that are strategically competitive in world markets, implementing the concept of active production, where resources are used that are qualitatively different from traditional industries, and methods for increasing their efficiency should be adequate to the requirements of high-tech business. Lean technologies in the knowledge-intensive sphere should be considered as a dynamic toolkit for increasing the efficiency innovative production, which does not adapt to the market, but actively influences it, using the developments of domestic schools: the scientific organization of labor (NOT), production and management. The lean manufacturing apparatus should be constantly updated and adapted to the specifics of the conditions of their use, and not be regarded as a static set of tools and methods. The lean manufacturing toolkit currently does not receive proper support "from below" in the form of necessary measures for its application, in particular, measures to improve the systems of organizational and technical regulation, calculation of scheduling, labor and other standards that form the basis for the effective use of all resources involved in the development, development and production of products.

The paper analyzes the experience of introducing lean production methods in domestic, including aerospace industrial enterprises, proposes measures to improve the mechanisms for the practical implementation of lean technologies on the basis of a integrated approach, the concept of active production, which forms the strategic competitive advantages of domestic high-tech enterprises in world markets.

Принципы формирования процедур обоснования экономической эффективности процессов борьбы с космическим мусором

Землянская А.П., Калошина М.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Космическое пространство вокруг Земли – это ресурс, который практически не регулируется с начала космической деятельности человека. Крупные объекты, такие как тела ракет высшей ступени, ускорители и нефункциональные спутники, являются потенциальным источником орбитального мусора, представляющие серьезную опасность

для действующих спутников. Для уменьшения риска бесконтрольного увеличения количества обломков объектов, крупные объекты должны быть сняты с орбит. В настоящее время предложено очень много разнообразных технических концептов и технологических процессов борьбы с космическим мусором. Процедуры обоснования экономической эффективности включают:

Принцип объективности и субъективности предполагает применение: объективных методик, которые основаны на факторе максимального срока использования; субъективных методик, которые оценивают: перспективность используемых для их достижения научно-технических приемов и принципов; техническую значимость научной разработки; средние значения коэффициентов научно-технической значимости разработок, характеризующих объект; развернутые системноцелевые модели

Принцип повышения точности и достоверности предполагает применение многовариантных оценок с использованием альтернативных методов: метод аналогов, метод экспертных оценок, сметно-нормативный, параметрический метод.

Принцип оценки предельной стоимости, который предполагает расчет технической цены. Алгоритм формирования цены на космический аппарат для удаления мусора включает в себя основные принципы и условия, определяющие последовательность методов, производство технологических модулей и расчетов, которые в комплексе дают возможность представить заказчику адекватную контрактную стоимость.

Принцип учета вероятностной оценки риска, который предполагает формирование интегрированной структуры вероятностной оценки риска на основе пространственно-временного моделирования и предполагает 6 функциональных этапов: формирование информационной базы для оценки, идентификация инициирующих событий; разработку сценария; логическое моделирование; анализ последствий; оценку результатов.

Принцип логико-вероятностного моделирования устаревания разработки в космическом пространстве, который предполагает учет следующих факторов потерь в космосе: сокращением срока службы спутника или потерей эксплуатационных возможностей спутника.

Перечисленные принципы могут быть положены в основу формирования процедур обоснования экономической эффективности процессов борьбы с космическим мусором

Principles for the formation of procedures for justifying the economic efficiency of space debris control processes

Zemlyanskaya A.P., Kaloshina M.N.

MAI, Moscow, Russia

Space around The earth is a shared resource that has been virtually unregulated since the beginning of human space activities. Large objects such as high-stage rocket bodies, boosters, and non-functional satellites are potential sources of orbital debris that pose a serious threat to active satellites. To reduce the increase in object debris, objects must be removed from orbit. Currently, a lot of different technical concepts and technological processes for combating space debris have been proposed. Cost-effectiveness justification procedures include:

The principle of objectivity and subjectivity involves the use of: objective methods that are based on the factor of the maximum period of use; subjective methods that evaluate: the prospects of scientific and technical techniques and principles used to achieve them; the technical significance of scientific development; the average values of the coefficients of scientific and technical significance of developments that characterize the object; expanded system-purpose models.

The principle of increasing accuracy and reliability involves the use of multivariate estimates using alternative methods: the method of analogs, the method of expert assessments, the estimate-standard method, and the parametric method.

The principle of estimating the marginal cost, which involves calculating the technical price. The algorithm for forming the price of a spacecraft for garbage disposal includes the basic principles and conditions that determine the sequence of methods, the product of technological modules and

calculations, which together make it possible to present the customer with an adequate contract price.

The principle of accounting for probabilistic risk assessment, which involves the formation of an integrated structure of probabilistic risk assessment based on spatial and temporal modeling and involves 6 functional stages: the formation of an information base for assessment, identification of initiating events; scenario development; logical modeling; analysis of consequences; evaluation of results.

The principle of logical-probabilistic modeling of development obsolescence in outer space, which involves taking into account the following factors of losses in space: a reduction in the service life of the satellite or the loss of operational capabilities of the satellite.

These principles can be used as the basis for the formation of procedures for justifying the economic efficiency of space debris management processes.

НИРС Института иностранных языков МАИ: задачи и результаты реализации

Зубанова С.Г., Дебдина Е.Г., Деева Е.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Создание англоязычной научно-образовательной среды для подготовки специалистов аэрокосмической отрасли, владеющих английским языком на высоком уровне, – актуальная задача авиационного вуза. Поэтому в образовательном процессе, в научных студенческих мероприятиях значительное внимание уделяется английскому языку авиационной тематики.

Научно-исследовательская работа студентов (НИРС), выполняемая на английском языке, приобретает все большую популярность среди студентов МАИ. Выполняемые в рамках НИРС проекты все чаще носят межпредметный характер и выполняются на английском языке; студенты чаще стремятся к академическому росту – это есть признаки выстраивания индивидуальных научно-образовательных траекторий.

Одной из задач организации и развития НИРС является повышение уровня научной подготовки будущих специалистов и выявление одаренной молодежи для последующего обучения в аспирантуре и пополнения научных и педагогических кадров вуза. Студенты, занимающиеся НИРС, обладают более глубокими теоретическими знаниями, кроме того, в процессе занятий НИРС развивают soft skills. В перспективе они более востребованы работодателями на рынке труда.

Для объективной оценки роли английского языка в НИРС было проведено исследование вовлеченности студентов в НИРС на иностранном языке: проанализированы данные по участию студентов МАИ с докладами на английском языке в работе секций Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения» с 2017 г. по н.вр. На основании полученных данных сформулированы выводы:

1) С каждым годом количество докладов в секции «Лингвистика», рабочим языком которой является английский, увеличивается: по сравнению с 2017 г., когда данная секция впервые работала на английском языке, количество докладов возросло в 8 раз.

2) Количество секций «Гагаринских чтений», рабочим языком которых является не только русский, также возрастает; количество докладов на английском языке увеличилось с 11 – в 2019 г. до 119 – в 2020 г.

3) По сравнению с 2018 г., когда Международная секция появилась впервые, количество докладов возросло в два раза.

Данные исследования подтверждают возрастание интереса студентов к НИРС на английском языке, понимание актуальности и важности формирования у студентов такой компетенции, как владение англоязычной профессиональной коммуникацией и переводом технической документации.

Research work of the students of the Institute of Foreign Languages of MAI: objectives and results of implementation

Zubanova S.G., Debdina E.G., Deeva E.V.
MAI, Moscow, Russia

The creation of an English-language research and educational environment for training specialists in aerospace field who speak advanced level English is a critical task of an aviation university. For this reason, special attention is paid to aviation-related English language in the training process and at the scientific events for students.

Research performed in English is becoming increasingly popular among the students of the Moscow Aviation Institute. The projects performed within the framework of the students' research work are becoming interdisciplinary in their nature and are carried out in English. Students strive more for academic growth. These are the signs of building individual research and educational paths.

One of the objectives of organizing and developing research is increasing the level of scientific training of future specialists and identifying gifted young people for subsequent postgraduate studies and reinforcement of scientific and pedagogical personnel of the university. Students engaged in research work have deeper theoretical knowledge. In addition, such students develop soft skills in the process of performing their research. In the future, they are in higher demand by the employers.

For purposes of assessing the role of the English language an objective assessment of the role of the English language in the research work, a study of the involvement of students in research in a foreign language was carried out: data on the participation of the MAI students with reports in English in the work of subpanels of the International Youth Scientific Conference "Gagarin Readings" has been analyzed for the period since 2017 until now. Based on the received results, the following conclusions have been made:

1) every year the number of reports in the "Linguistics" subpanel (the working language of which is English) is increasing: in comparison with 2017, when this subpanel first worked in English, the number of reports has increased eightfold.

2) the number of subpanels of "Gagarin Readings", the working language of which is not only Russian, is also increasing: the number of reports in English has increased from 11 in 2019 to 119 in 2020.

3) compared to 2018, when the International Subpanel appeared for the first time, the number of reports has doubled.

Особенности формирования конкурентных преимуществ предприятия в период кризиса

Зубеева Е.В., Мезина Н.А., Ерошкин А.М., Кайбелева В.Р.
МАИ, г. Москва, Россия

Конкурентные преимущества – это выгодные позиции, характеристики производимых товаров и оказываемых услуг, которые отличают предприятие от аналогов отрасли. Стабильно развивающаяся экономика не дает гарантий формирования устойчивых конкурентных позиций на рынке, но благоприятствует развитию здоровой конкуренции на рынке и стимулирует научно-технический прогресс за счет инновационного характера общей стратегии развития экономики. Иначе дело обстоит в периоды кризиса. В кризисы даже предприятиям-лидерам отрасли сложно добиться конкурентных преимуществ. Этому способствуют внутренние риски предприятия, такие как недостаток финансовых и материальных ресурсов, снижение мотивации персонала, и внешние факторы: снижение покупательной способности денег, снижение интереса к инновациям со стороны потребителя, ухудшение рыночной конъюнктуры.

Исследователи выделяют несколько стратегий формирования конкурентных преимуществ в кризисные периоды:

1. Стратегия сегментации. Сосредоточение на малом рыночном сегменте в период кризиса – это путь к экономии ресурсов и совершенствованию производимой продукции

именно в соответствии с запросом целевого сегмента. Преимущество стратегии - в улучшении позиции производственного предприятия на конкретном сегменте. Недостаток в том, что затяжной кризис может наложить серьезные ограничения на возможности расширения рыночной ниши, занимаемой предприятием.

2. Стратегия дифференциации. Смысл заключается в концентрации усилий на продукции, которая пользуется ограниченным спросом. Преимущество стратегии – совершенствование производственного процесса, интенсификация маркетинговых усилий. Недостаток в слишком узкой специализации. В момент окончания кризисных процессов предприятию сложно вернуться на прежние позиции.

3. Стратегия диверсификации. Часто оправдывает себя в том случае, если предприятие действует в устаревшей отрасли. Кризис – хорошее время для перехода предприятия, имеющего достаточно трудовых ресурсов высокой квалификации, в смежную или несвязанную, но более стабильную отрасль. Преимущество стратегии в том, что у предприятия есть возможность повысить рыночную капитализацию и занять новую рыночную нишу. Однако стратегия диверсификации достаточно часто не оправдывает себя, если ресурсы, имеющиеся у предприятия, недостаточны для организации нового производства и завоевания рыночной доли.

Таким образом, кризис может стать катализатором развития новой корпоративной стратегии предприятия, изменить вектор его деятельности.

Features of formation of competitive advantages of the enterprise during the crisis

Zubeeva E.V., Mezina N.A., Eropkin A.M., Kaybeleva V.R.

MAI, Moscow, Russia

Competitive advantages are favorable positions, characteristics of the goods produced and services rendered that distinguish the company from industry analogues. A steadily developing economy does not guarantee the formation of stable competitive positions in the market, but it promotes healthy competition in the market and encourages scientific and technological progress due to the innovative nature of the overall strategy of economic development. This is not the case in times of crisis. In times of crisis, even leading companies in the industry find it difficult to gain competitive advantages. This is facilitated by internal risks of the enterprise, such as lack of financial and material resources, reduced motivation of staff, and external factors: a decrease in the purchasing power of money, a decrease in consumer interest in innovation, and a deterioration in market conditions.

Researchers identify several strategies for creating competitive advantages in times of crisis:

1. Segmentation strategy. Focusing on a small market segment in times of crisis is a way to save resources and improve products exactly in accordance with the request of the target segment. The advantage of the strategy is to improve the position of the production company in a particular segment. The disadvantage is that a prolonged crisis can impose serious restrictions on the ability to expand the market niche occupied by the enterprise.

2. Differentiation strategy. The point is to focus on products that are in limited demand. The advantage of the strategy is the improvement of the production process and the intensification of marketing efforts. The disadvantage is that the specialization is too narrow. At the end of the crisis, it is difficult for the company to return to its previous positions.

3. The strategy of diversification. It often justifies itself if the company operates in an outdated industry. A crisis is a good time for a company that has enough highly qualified labor resources to move to a related or unrelated, but more stable industry. The advantage of the strategy is that the company has the opportunity to increase its market capitalization and occupy a new market niche. However, the diversification strategy often does not justify itself if the resources available to the enterprise are insufficient to organize new production and gain market share.

Thus, the crisis can become a catalyst for the development of a new corporate strategy of the enterprise, change the vector of its activities.

Управление рисками предприятий-разработчиков авиационной техники с использованием гейтовой технологии

Зуева Т.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Управление рисками охватывает все аспекты деятельности и напрямую влияет на экономический результат. Оно предполагает, в условиях объективно существующей неопределенности, принятие субъективных управленческих решений. В настоящее время принятие решений в условиях неопределенности среды осложнено рядом объективных факторов: экономическим кризисом в связи с изменениями в деятельности ряда предприятий из-за коронавируса; случайностью и непредсказуемостью природных явлений; ростом политической напряженности и санкционного давления на экономику России. Преодоление текущих проблем усложнено, с одной стороны, особенностями Российского законодательства и стандартизации, с другой стороны – продолжающимися процессами реорганизационных преобразований в высокотехнологичных отраслях экономики. Незрелость корпоративных стандартов и трудности внедрения стандартов на уровне предприятия, ориентация на международное мнение и практику управления – все это, в условиях повышенных требований к интенсификации внутреннего рынка, требует внедрения систематических и системных мер по управлению рисками. Для предприятий – разработчиков, входящих в состав Холдинга Вертолеты России, проблема управления рисками является одной из наиболее актуальных, так как АО «НЦВ Миль и Камов» как единая организационно-хозяйственная единица было создано недавно.

Проведено исследование, целью которого стала идентификация и анализ рисков предприятия в условиях показанных изменений. Исследование проводилось с использованием метода экспертной оценки с анкетным опросом. В ходе исследования были выявлены критические риски на момент исследования: риск несоответствия предлагаемых решений потребностям рынка; риск принятия неправильных организационно-управленческих решений; риск претензий к качеству создаваемых изделий со стороны конечных потребителей. По результатам исследования было рекомендовано управленческому персоналу организации рассмотреть возможность внедрения гейтовой технологии управления проектами.

Гейтовая технология управления проектами позволяет решать задачу минимизации рисков от «гейта» к «гейту» при росте стоимости изменений от стадии к стадии жизненного цикла проекта. Необходимыми условиями прохождения каждого «гейта» и старта следующего этапа, является не только выпуск конструкторской документации в нужном объеме, но, и выполнение условий, необходимых для создания конструкции с набором характеристик, востребованных на рынке.

Risk management of aviation equipment development enterprises with gate technology using

Zueva T.I.

MAI, Moscow, Russia

Risk management covers all aspects of activity and directly affects the economic result. It assumes, in the conditions of objectively existing uncertainty, the adoption of subjective management decisions. Currently, decision-making in an uncertain environment is complicated by a number of objective factors that are the economic crisis due to changes in the activities of a number of enterprises due to COVID-19; randomness and unpredictability of natural phenomena; the growth of political tension and sanctions pressure on the Russian economy. Overcoming the current problems is complicated, on the one hand, by the peculiarities of Russian legislation and standardization, on the other hand, by the ongoing processes of reorganization in high – tech sectors of the economy. The lack of development of corporate standards and difficulties in implementing standards at the enterprise level, focus on international opinion and management practices – all this, in the context of increased requirements for the intensification of the domestic market, requires the introduction of systematic and systematic risk management measures. For development companies

that are part of the Russian Helicopters holding, the problem of risk management is one of the most urgent, since JSC NCV Mil and Kamov as a single organizational and economic unit was created recently

A study had been conducted to identify and analyze the risks of the enterprise in the conditions of the changes shown. The study was conducted using the method of expert evaluation with a questionnaire survey. The study identified critical risks at the time of the study: the risk of non-compliance of the proposed solutions with the needs of the market; the risk of making incorrect organizational and managerial decisions; the risk of claims to the quality of products created by end users. Based on the results of the study, it was recommended that the organization's management staff consider the possibility of implementing gate technology for project management.

The gate technology of project management allows you to solve the problem of minimizing risks from "gate" to "gate" with an increase in the cost of changes from stage to stage of the project lifecycle. Prerequisites pass each "gate" and the start of the next stage, is not only the issue of design documentation in the right amount, but also the conditions needed to create a design with a set of characteristics demanded by the market

Кадры, как один из существенных элементов социально-экономического потенциала аэрокосмических предприятий

Кабанов А.С., Сорокин А.Е., Афонина О.А., Галкина Е.Е.
МАИ, г. Москва, Россия

Один из решающих факторов роста эффективности и конкурентоспособности работы аэрокосмических предприятий в условиях современной рыночной экономики – обеспечение высокого уровня кадрового потенциала. Наиболее ценный актив предприятия – люди. Предприятия, правильно подбирающие кадры и умело руководящие своими людьми, обгоняют остальные организации на 30-40%. Для оценки своей работы они используют такие показатели, как return on investment – рентабельность инвестиций и return on assets – рентабельность активов. В настоящее время, для оценки персонала предприятий, следует использовать показатель ROT (return of talents – рентабельность талантов), который отражает отдачу от инвестиций в кадры, эффективность подбора высококвалифицированного персонала и его влияние на деловые успехи предприятия. Высококвалифицированные специалисты, рост которых обязателен, оказывают положительное влияние на остальной персонал, повышая его компетентность и инициативность.

Внедрение на аэрокосмических предприятиях [4], позволит создать эффективную систему менеджмента знаний (СМЗ), сохранить богатый опыт, накопленный в отрасли и предложить новые направления его использования. Предлагается создать организационную структуру во главе с главным специалистом СМЗ. Он будет отвечать за разработку принципиально новых подходов внедрения апробированных методик, инноваций, что будет содействовать росту социально-экономического потенциала аэрокосмических предприятий.

Литература:

1. Афонина О.А., Галкина Е.Е., Гусева Т.И., Незведова С.А., Рассадина Д.О. Внедрение системы экологического менеджмента на авиапредприятиях как фактор повышения конкурентоспособности их продукции/Качество и жизнь. 2020. № 1 (25). С. 87-91
2. Галкина Е.Е., Сорокин А.Е., Кабанов А.С., Ханецкий А.С. Разработка отраслевых рекомендаций по внедрению ISO 45001:2018 на предприятиях авиационной промышленности/ Инновации и инвестиции. 2019. № 10. С. 327-332
3. А.Е.Сорокин, О.А.Афонина, Е.Е.Галкина, И.Е.Кириченко, Н.С.Чудакова Обоснование необходимости внедрения систем экологического менеджмента в практику работы российских авиационных предприятий/ Инновации и инвестиции, № 12, 2018, С. 105-109
4. ГОСТ Р 57127-2016/PAS 2001:2001 «Менеджмент знаний. Руководство по наилучшей практике»
5. Галкина Е.Е. Внедрение интегрированной системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья и системы экологического менеджмента–путь повышения эффективности работы предприятия/ European Social Science Journal. 2017. № 9. С. 96-102

Personnel as one of the sufficient elements of the socio-economic potential of aerospace enterprises

Kabanov A.S., Sorokin A.E., Afonina O.A., Galkina E.E.
MAI, Moscow, Russia

One of the decisive factors in the growth of efficiency and competitiveness of the work of aerospace enterprises in the conditions of a modern market economy is a provision of high level human resources. The most valuable asset of an enterprise is its personnel. Enterprises that correctly select the personnel and skillfully manage their staff are ahead of other organizations by 30-40%. They use indicators such as ROI (return on investment) and ROA (return on assets) to measure their performance. Currently, to assess the personnel of enterprises, the ROT (return of talents) indicator should be used, which reflects the return on investment in personnel, the efficiency of recruiting highly qualified personnel and its impact on the business success of the enterprise. Highly qualified specialists, whose growth is required, have a positive impact on the rest of the staff, increasing their competence and initiative.

The introduction of [4] at aerospace enterprises will create an effective knowledge management system (KMS), preserve the rich experience accumulated in the industry and propose new directions for its use. It is proposed to create an organizational structure headed by the chief specialist of the KMS. He will be responsible for the development of fundamentally new approaches to the implementation of proven techniques, innovations, which will contribute to the growth of the socio-economic potential of aerospace enterprises.

References:

1. Kulikov S. P., Novikov S. V., Prosvirina N. V., Sorokin A. E. Monitoring the effectiveness of implemented programs of projects in the field of youth policy in Russian educational organizations/ Regional problems of economic transformation. No. 10 (96), 2018, Pp. 76-83
2. Metechko L. B., Sorokin A. E. Convergent approach in successful achievement of the goals of education and science/ Economics and management in mechanical engineering, No. 2, 2018, Pp. 33-39
3. E. E. Galkina, A. E. Sorokin Competence and awareness of personnel-reserve for the effectiveness of the environmental management system/Economics and entrepreneurship, No. 12. 2019, Pp. 878-881
4. GOST R 57127-2016/ PAS 2001 :2001 " knowledge Management. Best practice guide", Moscow: STANDARTINFORM, 2016.
5. Afonina O. A., Galkina E. E., Guseva T. I., Nezvedova S. A., Rassadina D. O. Introduction of an environmental management system at airlines as a factor in increasing the competitiveness of their products/Quality and life 2020. No. 1 (25). Pp. 87-91

Маркетинговое позиционирование при выборе стратегических альтернатив развития товарного предложения авиастроительной компании

Калугина Г.А.

МАИ, г. Москва, Россия

На протяжении двух десятилетий российские промышленные предприятия ведут интенсивную работу по продвижению наукоемкой продукции на международные рынки. Активные попытки наблюдаются и на рынке авиационной техники гражданского назначения.

Для успешной реализации техники на высоко конкурентном мировом рынке пассажирских самолетов, который разделен между несколькими крупными производителями, необходима эффективная работа всех подразделений предприятия.

Наиболее ответственную и важную роль в данном случае играет служба маркетинга, отвечающая за разработку стратегии формирования и развития товарного предложения и позиционирования продукции.

Именно результаты рыночного исследования и предложения службы маркетинга позволяют с самого начала задать вектор, предопределяющий успех и эффективность

выхода на международный рынок, а в дальнейшем – управлять товарным предложением на всех этапах жизненного цикла продукции.

Позиционирование технически сложной и наукоемкой продукции является комплексным вариативным процессом детерминирования ключевых показателей, релевантных рыночным запросам и потенциалу производителя на длительном временном периоде. Для получения интегрального преимущества при разработке рыночной стратегии необходимо учитывать новейшие модернизации, модификации и развития товарного предложения.

В ходе исследования проведена работа по всестороннему анализу результатов реализации маркетинговых стратегий и изучению практики развития товарного предложения ведущих мировых авиационных производителей, базирующегося на определении целевых сегментов рынка для грамотного продвижения продукции.

Представленные результаты исследования отражают важность роли маркетинга при принятии стратегических решений, связанных с разработкой авиационной техники. Они направлены на систематизацию и теоретизацию знаний на базе расширения анализа практического опыта прогнозирования тенденций развития рынка гражданских самолетов, а также могут быть полезны и востребованы при планировании деятельности предприятий смежных отраслей промышленности.

Marketing positioning within selecting of strategic alternatives for the development of the aircraft manufacturer's product offer

Kalugina G.A.

MAI, Moscow, Russia

For two decades, Russian industrial enterprises have been working intensively to promote high-tech products to international markets. Active attempts are also observed in the market of civil aircraft.

Successful implementation of the technology in the highly competitive global passenger aircraft market, which is divided between several major manufacturers, requires effective work of all divisions of the enterprise.

The most responsible and important role in this case is played by the marketing service, which is responsible for elaborating a strategy for the formation and development of the product offer and product positioning.

The results of market studies and suggestions of marketing services allow from the very beginning to set the vector, determine the success and efficiency of international market entry, and further manage product offer at all stages of the product life cycle.

Positioning of technologically-advanced and knowledge-intensive products is a complex variable process of determining key indicators that are relevant to the market demands and manufacturer potential over a long time period. In order to gain an integral advantage when developing a market strategy, it is necessary to take into account further modernization, modification and development of the product offer.

Within the framework of the research, a comprehensive analysis of the results of implementing marketing strategies and studying the practice of developing the product offer of the world's leading aviation manufacturers, based on determining the target market segments for competent product promotion, was carried out.

The presented research results reflect the importance of the role of marketing in strategic decisions making related to the development of aircraft. They are aimed at systematizing and theorizing knowledge based on expanding the analysis of practical experience in predicting trends in the development of the civil aircraft market, and can also be useful and in demand when planning the activities of enterprises in related industries.

Эффективность деятельности преподавателя авиационного вуза

Картушина Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Имеется представление, что эффективность и качество образовательной деятельности – понятия экономического характера.

«Эффективность как характеристика деятельности организации и ее сотрудников является, прежде всего, категорией управленческой и рассматривается в ряду, характеризующем процесс деятельности: цели, результаты, субъекты деятельности, способы, ресурсы». [Пуденко, 2014; Каргушина, 2018]

Анализ авторских работ показывает отсутствие общего подхода к выбору объекта или субъекта оценки эффективности. Как правило интерес вызывают такие характеристики как: профессиональная функция, профессионализм, компетентность.

При оценке различных параметров учебного процесса, а также компетенций преподавателя авиационного вуза, оцениваются в первую очередь их качество по определенным критериям в соответствии с определенной шкалой измерений. Итак, термин «качество образовательного процесса» определяется как «многокомпонентная система, главным элементом которой является качество педагогического состава». [Каргушина, 2018].

За рубежом профессиональные качества педагога авиационного вуза определяются путем опроса обучающихся. В РФ при оценке профессионализма педагога часто используется система баллов [Макаров, Макарова, Переславцева, 2018]. Широкое распространение получили рейтинговые оценки.

В настоящее время остается актуальной разработка и выбор критериев оценки эффективности деятельности. Само понятие «критерий» Игнатюк Ю.Л. рассматривает как синоним понятия «норма».

В российской высшей школе ведется деятельность по «формированию базы критериев для оценки работы преподавателей».

В качестве принципиально другого подхода, учитывающего экономическую составляющую образовательного процесса, является подход через оценку конечного результата, где в качестве интегрального критерия может выступить соотношение затрат на подготовку специалиста – выпускника вуза авиационного профиля и степень его востребованности на рынке труда по полученной специальности.

Teacher's performance effectiveness in aviation universities

Kartushina N.V.

MAI, Moscow, Russia

There is an idea that the effectiveness and quality of educational performance are of economic character.

"Being a characteristic of the performance of an organization and its employees, efficiency, first of all, is a management category and is considered in a series that characterizes the process of activity: goals, results, coordinators of activity, methods, resources." [Pudenko, 2014; Kartushina, 2018]

Analysis of the works shows the lack of a general approach to the choice of an object or subject for evaluating effectiveness. As a rule, such characteristics as professional function, professionalism and competence are of interest.

While assessing various criteria of the educational process as well as the competencies of a teacher of aviation university, their quality according to certain criteria in accordance with a certain scale of measurements is assessed first of all. So the term "quality of the educational process" is defined as "a multiple-component system, where the quality of the teaching staff is the main element." [Kartushina, 2018].

Professional qualities of an aviation university teacher abroad are determined by a students' survey. While assessing the professionalism of a teacher, a credit system is often used In Russia. [Makarov, Makarova, Pereslvtseva, 2018]. Rating system is widely used.

At present the development and criteria selection for assessing the effectiveness of teachers' performance remains relevant. The concept of "criterion" Ignatyuk Yu.L. considers as a synonym for the notion "norm".

In Russian universities intense activity is being carried out to "form a base of criteria for assessing teachers' performance."

As a fundamentally different approach, which takes into consideration the economic component of the educational process, is the approach through the assessment of a final result, where the ratio of the costs of both a specialist from aviation sphere and a university graduate training and the degree of his demand in the labor market for the major received can appear as an integral criterion.

Обзор и применение международных и национальных стандартов в области мониторинга измерения удовлетворенности потребителя

Кириллова А.М., Одинцова Е.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из основных факторов эффективности деятельности организации является взаимодействие с потребителями. Для предоставления успешной и конкурентоспособной услуги необходимо исследовать закономерности, которым подчиняется поведение потребителя. Так как потребитель определяет качество продукции, то рассматриваемая модель мониторинга измерения удовлетворенности потребителя помогает улучшить стратегию в области качества продукции, процессов и характеристик организации, что приводит к повышению доверия и коммерческим выгодам.

При осуществлении качественного мониторинга и измерения удовлетворенности потребителя используются международные стандарты серии ISO 9001, 9004, 10001, 10002, 10003 и рекомендации в данной области:

- Стандарт серии ISO 9001, касающийся ориентации на потребителя; менеджмента ресурсов; удовлетворенности потребителей; анализа данных.
- Стандарт серии ISO 9004, касающийся рекомендаций по менеджменту для достижения устойчивого успеха организации.
- Стандарт серии ISO 10001, касающийся рекомендаций по правилам поведения организаций для достижения удовлетворенности потребителей.
- Стандарт серии ISO 10002, касающийся рекомендаций по внутреннему обращению с жалобами, относящимися к продукции.
- Стандарт серии ISO 10003, касающийся рекомендаций по сведению к минимуму неудовлетворенности потребителей в связи с неурегулированными жалобами.

На основе вышеперечисленных стандартов и рекомендаций к ним разработаны национальные стандарты Российской Федерации ГОСТ Р 54732-2011, ГОСТ Р 56036-2014, ГОСТ Р ИСО 10001-2009, включающие в себя руководящие указания по мониторингу и измерению удовлетворенности потребителей, рекомендации по правилам поведения для организаций.

Данные стандарты совместимы с международными стандартами в отношении процессов разработки внедрения правил достижения удовлетворенности потребителя, улучшения работы по правилам и повышению степени удовлетворенности потребителей, уменьшении вероятности возникновения жалоб со стороны потребителей о невыполнении их ожиданий от организации и качество ее продукции, при урегулировании спорных ситуаций.

Review and application of international and national standards for monitoring consumer satisfaction measurement

Kirilova A.M., Odintsova E.I.

MAI, Moscow, Russia

One of the main factors of the organization's efficiency is interaction with customers. In order to provide a successful and competitive service, it is necessary to study the regularities to which consumer behavior is subject. Since the consumer determines the quality of products, the model under consideration to monitor the measurement of customer satisfaction helps to improve the strategy in the field of product quality, processes and characteristics of the organization, which leads to increased confidence and commercial benefits.

The international standards ISO 9001, 9004, 10001, 10002, 10003 and recommendations in this field are used for qualitative monitoring and measurement of customer satisfaction:

- ISO 9001 series standard concerning customer orientation; resource management; customer satisfaction; data analysis.

- ISO 9004 series standard concerning management recommendations for achieving sustainable success of an organization.
- ISO 10001 series of recommendations for rules of conduct for organizations to achieve customer satisfaction.
- ISO 10002 series on recommendations for the internal management of complaints related to products.
- ISO 10003 series of recommendations for minimizing customer dissatisfaction with unsolved complaints.

On the basis of the above standards and recommendations to them, national standards of the Russian Federation GOST R 54732-2011, GOST R 56036-2014, GOST R ISO 10001-2009 were developed, which include guidelines for monitoring and measuring customer satisfaction, recommendations on rules of conduct for organizations.

These standards are compatible with international standards with regard to the processes of developing the implementation of rules to achieve customer satisfaction, improving the work on the rules and increase customer satisfaction, reducing the probability of complaints from customers about failure to meet their expectations of the organization and the quality of its products, in the settlement of disputes.

Стимулирование инновационной активности персонала на предприятиях

Коган Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Для достижения соответствующих результатов в инновационной сфере большое значение имеет стимулирование труда работников. Система конкретных мер, направленных на стимулирование труда, будет эффективна только тогда, когда учитывается специфика и особенности инновационной деятельности на предприятии, а также мотивация специалистов.

Инновации могут быть в любой сфере деятельности предприятия: в технике, технологии, организации труда, условиях труда, управлении, финансовой деятельности и других областях. Инновация может не иметь прямого экономического эффекта, а только социальный эффект, который заключается в сокращении времени протекания процессов: высвобождаемое время может быть использовано работниками для поддержания порядка на рабочих местах, обучения, решения проблем и разработки новых инициатив.

Для повышения уровня инновационной активности на предприятии используются методы материальной и нематериальной мотивации.

Исследование, проведенное на одном из машиностроительных предприятий, показало, что далеко не все сотрудники удовлетворены материальным стимулированием инновационной активности. Причиной этого является отсутствие прозрачной методики расчёта вознаграждения, то есть система материальной мотивации воспринимается работниками как несправедливая и непонятная.

Кроме того, одно лишь материальное вознаграждение не оказывает существенного влияния на продуктивность инженерных кадров [1]. Поэтому на предприятиях действует комплекс мер нематериальной мотивации: различные конкурсы подразделений и их работников, публичные награждения и многое другое.

Очень важным аспектом является информирование работников о мерах стимулирования инновационной активности сотрудников. Исследование, проведенное на одном из машиностроительных предприятий, показало, что процесс информирования работников проходит формально, с потерей качества доносимой информации.

Таким образом, повышение инновационной активности работников зависит от множества факторов: наличия прозрачной системы материального стимулирования, комплекса мер нематериальной мотивации, качественного информирования о существующих мерах поддержки и заинтересованности руководства в этом процессе.

Литература:

1. Коган Е.А., Семёнова Т.В. Отношение будущих инженеров к работе по специальности: престижность и востребованность профессии// Перспективы науки и образования. 2018. № 2 (32). С. 70-74.

Stimulation innovative activity of personnel in enterprises

Kogan E.A.

MAI, Moscow, Russia

To achieve appropriate results in the field of innovation, it is important to stimulate the work of employees. A system of specific measures aimed at stimulating labor will be effective only if the specifics and features of innovative activity at the enterprise, as well as the motivation of specialists, are taken into account.

Innovations can be applied in any field of enterprise activity: in engineering, technology, labor organization, working conditions, management, financial activities, and other areas. Innovation may not have a direct economic effect, but only a social effect, which is to reduce the time of processes: the time released can be used by employees to maintain order in the workplace, train, solve problems, and develop new initiatives.

To increase the level of innovation activity at the enterprise, methods of material and non-material motivation are used.

A study conducted at one of the machine-building enterprises showed that not all employees are satisfied with the material stimulation of innovation activity. The reason for this is the lack of a transparent method for calculating remuneration, that is, the system of material motivation is perceived by employees as unfair and incomprehensible.

In addition, material remuneration alone does not significantly affect the productivity of engineering personnel [1]. Therefore, enterprises have a set of measures of non-material motivation: various competitions of departments and their employees, public awards, and much more.

A very important aspect is to inform employees about measures to stimulate the innovation activity of employees. A study conducted at one of the machine-building enterprises showed that the process of informing employees is formal, with a loss in the quality of the information conveyed.

Thus, increasing the innovative activity of employees depends on many factors: the availability of a transparent system of material incentives, a set of measures of non-material motivation, high-quality information about existing support measures, and management's interest in this process.

References:

1. Kogan E. A., Semenova T. V. attitude of future engineers to work in the specialty: prestige and demand for the profession// Prospects of science and education. 2018. No. 2 (32). pp. 70-74.

Управление системой социальных льгот на предприятии авиационной отрасли

Коломоец Е.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Социальные льготы в настоящий момент времени используются как государством, так и отдельными организациями, и являются одним из инструментов регулирования социально-трудовых отношений.

Одно из крупных авиатранспортных предприятий столкнулось с проблемной ситуацией, вызванной неудовлетворенностью работников существующей системой предпочтений. Предприятие предоставляет социальные льготы в соответствии с Трудовым Кодексом в полном объеме. Кроме этого, компания установила целый ряд дополнительных льгот: дополнительное медицинское страхование, выплаты при рождении ребенка, льготные путевки в санатории и дома отдыха и др. Однако для получения большинства льгот сотрудникам необходимо отработать на предприятии от одного года до трех лет. Эта ситуация вызывает неодобрение у молодых сотрудников с небольшим стажем работы.

Опрос сотрудников показал, что большинство из них недовольны крайне, по их мнению, ограниченным перечнем предоставляемых льгот и несоответствием системы льгот пожеланиям работников. Как выяснилось, сотрудники хотели бы получать льготное питание

и бесплатно изучать иностранный язык, также востребована покупка авиабилетов по льготным тарифам. Потребность в льготном питании обусловлена отсутствием специальных столовых для сотрудников и дороговизной имеющихся общедоступных мест питания. Многим работникам приходится иметь дело с иностранными гражданами и документацией на иностранных языках, поэтому в изучении ими иностранного языка заинтересовано само предприятие. Льготный тариф на авиабилеты продемонстрировал бы внимание руководства к нуждам сотрудников.

Исследование также показало, что для получения льготы работнику необходимо собрать множество справок и документов, заверив их в различных инстанциях. Это отнимает время и также вызывает недовольство сотрудников.

Внедрение дополнительных социальных льгот и оптимизация количества предоставляемых для их получения документов предполагает определенные затраты, но они будут меньше, чем затраты предприятия, связанные с высокой текучестью молодых сотрудников. Первый шаг, который могло бы сделать предприятие для совершенствования имеющейся системы социальных льгот, это оценить ее по следующим параметрам: информированность сотрудников об имеющихся на предприятии выплатах и других возможностях; востребованность той или иной льготы, простота/сложность оформления запроса, пожелания сотрудников.

Management of the system of social benefits at an aviation enterprise

Kolomoets E.N.

MAI, Moscow, Russia

Social benefits are currently used by both the state and individual organizations, and are one of the tools for regulating social and labor relations.

One of the major air transport companies faced a problematic situation caused by employees dissatisfaction with the existing system of preferences. The company provides social benefits in accordance with the Labor Code in full. In addition, the company has established a number of additional benefits: additional medical insurance, payments at the birth of a child, preferential vouchers to sanatoriums and rest homes, etc. However, to receive most of the benefits, employees need to work at the enterprise from one to three years. This situation causes disapproval of young employees with little work experience.

A survey of employees showed that most of them are dissatisfied with the extremely, in their opinion, the limited list of benefits provided and the inconsistency of the benefit system with the wishes of employees. As it turned out, employees would like to receive discounted meals and learn a foreign language for free, and the purchase of air tickets at discounted fares is also in demand. The need for reduced-price meals is due to the lack of special canteens for employees and the high cost of the available public food places. Many employees have to deal with foreign citizens and documentation in foreign languages, so the enterprise itself is interested in learning a foreign language. A discounted airfare would show management's attention to employee needs.

The study also showed that in order to receive benefits, an employee needs to collect a lot of certificates and documents, certifying them in various instances. This is time consuming and also frustrates employees.

The introduction of additional social benefits and the optimization of the number of documents provided to obtain them involves certain costs, but they will be less than the costs of the enterprise associated with the high turnover of young employees. The first step that the company could take to improve the existing system of social benefits is to assess it according to the following parameters: awareness of employees about the benefits available at the company and other opportunities; the demand for a particular benefit, the simplicity / complexity of the request, the wishes of the employees.

Разработка комплексной программы и оценка эффективности внедрения стратегии повышения конкурентоспособности на мировом рынке спутниковой связи российской компании

Комарова Н.В., Слав С.И
МАИ, г. Москва, Россия

Исследование посвящено разработке и контролю плана реализации стратегических мероприятий по повышению конкурентоспособности на мировом рынке спутниковой связи российской компании владеющей орбитальной группировкой на геостационарной орбите (ГСО). Объем мирового рынка спутниковой связи через ГСО с 2015 по 2020 год уменьшился в объеме с 11,8 млрд. долларов США до 10,8 млрд. долларов США, т.е. наблюдается среднее годовое снижение -1,8% в год. В этой ситуации недостаточно просто разработать стратегию повышения конкурентоспособности, необходимо иметь механизм её реализации и контроля. Таким образом, тема исследования является весьма актуальной.

Научная гипотеза исследования. Внедрение стратегии, разработанной на основе анализа рынка телекоммуникаций с целью выявления востребованности тех или иных услуг спутниковой связи позволит российской компании ФГУП «Космическая связь» (ГП КС) снизить свои издержки и повысить эффективность работы, что усилит ее конкурентоспособность на мировом рынке.

Методологическую основу исследования составили концепции и взгляды отечественных и зарубежных экспертов в сфере связи и научных работников.

Практическая значимость исследования определяется и подтверждается тем, что выводы данного исследования могут являться руководством для всех предприятий на рынке спутниковой связи, как оборонного назначения, так и гражданского, сталкивающихся с проблемой конкурентоспособности на рынке телекоммуникаций.

Результаты исследования. В ходе проведенного исследования проработаны этапы внедрения стратегии. Представлена система стратегических изменений, связанных с реализацией стратегии. Приведены прогнозные значения выделения финансовых ресурсов для развития стратегии позиционирования предприятия и приведены данные по необходимости дополнительного персонала для развития стратегии позиционирования по направлениям. разработана технология стратегического контроля. Исследованы риски, которые могут наступить при реализации предлагаемой стратегии. Экономические расчеты показали, что для роста при сдерживании цен на услуги, необходимо увеличивать объем сданного ресурса за 15 лет минимум в 2 раза. При этом долю дополнительных услуг довести до 85-90%. Среднегодовой прирост прибыли от продаж, при этом ожидается на уровне 4,5% и средней рентабельности в районе 33,6%.

Development of a comprehensive program and effectiveness of the strategy implementation to increase competitiveness in the global satellite communications market of the Russian company

Komarova N.V., Slav S.I.
MAI, Moscow, Russia

The research is devoted to the development and monitoring of the implementation plan for strategic measures to increase the competitiveness of the Russian company that owns the geostationary orbit (GEO) satellite constellation in the global market. The global market for satellite communications via GEO decreased from us \$ 11.8 billion to us \$ 10.8 billion from 2015 to 2020, i.e. there is an average annual decline of -1.8% per year. In this situation, it is not enough just to develop a strategy for improving competitiveness, but to have a mechanism for its implementation and control. Thus, the research topic is very relevant.

Scientific hypothesis of the study. Implementation of the strategy developed on the basis of the telecommunications market analysis in order to identify the demand for certain satellite communication services will allow the Russian company FSUE "Kosmicheskaya Svyaz" to reduce its costs and increase its efficiency, which will strengthen its competitiveness in the global market.

The methodological basis of the research is based on the concepts and views of domestic and foreign experts in the field of communications and researchers.

The practical significance of the study is determined and confirmed by the fact that the conclusions of this study can be a guide for all enterprises in the satellite communications market, both for defense and civil purposes, facing the problem of competitiveness in the telecommunications market.

Research results. In the course of the study, the stages of implementing the strategy were worked out. A system of strategic changes related to the implementation of the strategy is presented. The forecast values of allocation of financial resources for the development of the company's positioning strategy and data on the need for additional personnel for the development of the positioning strategy in the directions are given. The technology of strategic control has been developed. The risks that may occur during the implementation of the proposed strategy are investigated. Economic calculations have shown that in order to grow while keeping prices for services in check, it is necessary to increase the volume of commissioned resources by at least 2 times over 15 years. At the same time, the share of additional services should be increased to 85-90%. The average annual increase in profit from sales is expected to be 4.5% and the average profitability in the region of 33.6%.

Направления построения эффективной производственной модели отечественной авиационной отрасли

Кондратьев Д.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Авиационная промышленность – одна из наиболее значимых и высокотехнологичных отраслей. Однако, несмотря на сильные позиции в военном сегменте, в настоящее время конкурентоспособная продукция гражданского назначения отсутствует.

Одна из основных причин – устаревшая и неэффективная текущая модель отрасли, не предусматривающая четкого разделения ролей финальных производителей продукции (интеграторов) и поставщиков комплектующих изделий (1-4-го уровней). В целевом видении финальные интеграторы приобретают модули (авиационные комплексы) у поставщиков первого уровня, те в свою очередь – узлы у поставщиков второго уровня и так далее. Это позволяет эффективно управлять всей цепочкой кооперации и проектом в целом.

В России данного разделения не произошло по следующим причинам: недостаточный масштаб внутреннего рынка; не развитые на предприятиях бизнес-процессы по управлению проектами и поставщиками; чрезмерная зависимость предприятий от государственных заказов; отсутствие стимулов развития кооперации из-за ценовой модели по гособоронзаказу по схеме «20% (собственные затраты) + 1% (привнесенные затраты)»; действующий механизм управления поставщиками согласно ГОСТ Р 58175-2018 работает не всегда.

Результатом является то, что разработка и производство конкурентоспособной продукции гражданского назначения существенно затруднено, развитая система отечественных поставщиков отсутствует, действующие поставщики неконкурентоспособны, ориентированы только на внутренний рынок и имеют высокий уровень накладных расходов.

В целях построения эффективной производственной модели отечественной авиационной отрасли необходимо предусмотреть следующие меры:

- Отказ от схемы «20% + 1%» по государственному оборонному заказу и переход к гибкой модели ценообразования в отрасли, где прибыль зависит также от соотношения собственных и привнесенных затрат.
- Корректировка государственной политики в целях оптимизации активов, снижения уровня накладных расходов, стимулирования диверсификации производства поставщиков в смежных отраслях, встраивания их в международную кооперацию.
- Реализация экономических механизмов поддержки: софинансирование НИР, налоговое стимулирование, льготное заемное финансирование, прозрачное субсидирование деятельности предприятий.

Указанные стратегические шаги позволят обеспечить эффективность предприятий отрасли, использовать потенциал внутреннего рынка, в перспективе создать конкурентоспособную гражданскую продукцию и нарастить ее долю на международном рынке.

Directions to formation of an effective production model of the national aircraft industry

Kondratyev D.V.

MAI, Moscow, Russia

The aircraft industry is one of the most significant and high-tech industries. Despite a strong position in the military segment, at present there are not competitive civilian products in the industry.

One of the main reasons is the out of date and ineffective current model of the industry, which does not provide for a clear division of the roles of final product producers (integrators) and suppliers of components (levels 1-4). In the target vision, the final integrators purchase modules (aircraft systems) from first-level suppliers, who, in turn, purchase components from second-level suppliers, and so on.

In Russia, this division did not take place for the following reasons: insufficient size of the domestic market; underdeveloped business processes at enterprises for project and supplier management; excessive dependence of enterprises on state orders; lack of incentives for the development of cooperation due to the price pattern for the state defense orders according to the formula “20% (internal costs) + 1% (external costs)”; the current supplier management system in accordance with GOST R 58175-2018 does not always work.

As a result the development and production of competitive civilian products is significantly hampered, there is no developed system of national suppliers, the existing suppliers are not competitive, focused only on the domestic market and have a high level of overhead costs.

In order to develop an effective production model of the national aircraft industry, it is necessary to provide the following measures:

- Refusal of the “20% + 1%” price pattern for the state defense orders and transition to a flexible pricing model in the industry, where profit also depends on the ratio of internal and external costs.
- Correction of national policy in order to optimize assets, reduce the level of overhead costs, stimulate the production of suppliers by diversification in related industries and integration them into international cooperation.
- Implementation of economic support mechanisms: co-financing of research activities, tax incentives, soft debt financing, accountable subsidizing of enterprises.

These strategic steps will ensure the efficiency of the final integrators and suppliers, give opportunity to use the potential of the national market effectively. So it will allow to create competitive civilian products and increase their share in the international market in the future.

Управление смешанной рабочей силой в условиях цифровизации

¹Коновалова В.Г., ²Мурадова Н.М.

¹МАИ, ²ГУУ, г. Москва, Россия

В современной практике уже значительное число высокотехнологичных предприятий имеет дело со смешанной рабочей силой, которая включает как традиционный персонал – штатных сотрудников, так и внешних фрилансеров, привлекаемых для реализации конкретных проектов. При этом часть и штатных, и внештатных сотрудников работает на площадке работодателя, а остальные выполняют возложенную на них работу дистанционно.

Привлечение внешних талантов обеспечивает предприятиям ряд преимуществ, включая большую гибкость, быструю поддержку конкретных проектов, доступ к экспертным знаниям по запросу, сокращение накладных расходов, но в то же время делает их более зависимыми от фрилансеров.

Нарастающее усложнение структуры рабочей силы меняет традиционные отношения наемных работников и работодателей, приводит к появлению новых проблем (адаптация, интеграция и вовлеченность сотрудников, обеспечение эффективных коммуникаций, поддержание единой корпоративной культуры). Необходим новый подход к управлению

смешанной рабочей силой, рассматривающий ее привлечение и использование как стратегическую возможность, конкурентное преимущество, а не просто как тактические действия.

Одно из условий привлечения талантов-фрилансеров, – убедительное ценностное предложение. Для фрилансеров важнее всего интересная работа, справедливая оплата, условия труда, соответствующие их потребностям, возможность поработать с талантливыми и дружелюбными коллегами, а также расти и развиваться через выполняемую работу, сохраняя при этом свои профессиональные качества. При этом они ожидают, что менеджеры будут относиться к ним с должным вниманием и уважением, а не как к сотрудникам «второго сорта». Управление устойчивой смешанной рабочей силой требует от менеджеров согласования целей, установления четких ожиданий от людей, предоставления регулярной обратной связи для развития и улучшения навыков вне зависимости от того, идет речь о традиционных штатных сотрудниках или привлеченных фрилансерах. Развитие цифровых технологий расширяет возможности общения, управления проектами и технологий совместной работы, ускоряет рост виртуальных команд и упрощает интеграцию внештатных сотрудников.

Необходимо также создание организационной культуры, поддерживающей такие ценности как сотрудничество различных групп смешанной рабочей силы (виртуально и напрямую) и позитивная оценка взаимодействия с фрилансерами как возможности обогащения опыта штатных сотрудников, изучения новых методов с целью их внедрения в своей организации.

Managin the blended workforce in a digital environment

¹Konovalova V.G., ²Muradova N.M.

¹MAI, Moscow, Russia

²State University of Management, Moscow, Russia

In modern practice a significant number of organizations are already dealing with a blended workforce, which includes both traditional staff – full-time employees and external freelancers involved in specific projects. At the same time, part of both full-time and freelance employees work at the employer's site, and the rest perform the work assigned to them remotely.

Hiring external talent provides high tech enterprises with a number of benefits, including greater flexibility, quick support for specific projects, access to on-demand expertise, and reduced overhead costs, but at the same time makes them more dependent on freelancers.

The increasing complexity of the structure of the workforce changes the traditional relationship between employees and employers, leads to the emergence of new problems (adaptation, integration and involvement of employees, ensuring effective communications, maintaining a unified organizational culture). A new approach to managing a blended workforce is needed, which views its recruitment and use as a strategic opportunity, a competitive advantage, and not just tactical actions.

One of the conditions for attracting freelance talent is a compelling value proposition. For freelancers the most important thing is interesting work, fair pay, appropriate working conditions that fit their needs, chance to work with talented and welcoming colleagues, as well as opportunity to grow and develop professionally through work while maintaining their professional edge. In doing so, they expect managers to treat them with due care and respect, rather than as second-class employees. Managing a sustainable blended workforce requires managers to agree on goals, set clear expectations from people, and provide regular feedback to develop and improve skills, whether they are traditional full-time employees or outsourced freelancers. Advances in digital technology are expanding communication, project management, and collaboration technologies, accelerating the growth of virtual teams, and facilitating the integration of freelancers.

It is also necessary to create an organizational culture that supports such values as the collaboration of various groups of the blended workforce (virtually and directly) and a positive assessment of interaction with freelancers as an opportunity to enrich the experience of full-time employees, learn new methods in order to implement them in your organization

Развитие мотивации к изучению английского языка у студентов технических специальностей в условиях дистанционного обучения

Коновалова С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Современное дистанционное обучение студентов технических специальностей предполагает не только развитие их профессиональной компетенции, инициативности, способности к повышению квалификации, умения слаженно работать в коллективе, но и формирование стремления к изучению той или иной дисциплины. На первое место здесь выступает мотивация личности, поскольку именно она мобилизует и устремляет ее к достижению определенных целей. В любом виде деятельности необходим определенный набор качеств, стимулирующих мотивацию поведения, его оценку и регуляцию в соответствии с изменяющимися условиями внешней среды. Именно это оказывает решающее воздействие на формирование личности, устойчивость ее взглядов, социальную активность и моральную выдержанность.

На сегодняшний день существует множество классификаций, раскрывающих специфику мотивации к обучению у студентов.

Особый исследовательский интерес представляет проблема развития мотивации к изучению английского языка у студентов технических специальностей в условиях дистанционного обучения, поскольку в современных условиях все больше получает актуальность задача максимального эффективного обучения «на расстоянии», когда преподаватель и студенты физически находятся в разных местах. Адаптироваться к подобным условиям весьма сложно: фактор времени, привыкания, пристрастное отношение к данному предмету у студентов неязыковых специальностей и пр. – все это негативно отражается на качестве обучения. Соответственно, развитие мотивации к изучению английского языка у студентов технических специальностей в условиях дистанционного обучения обусловлено:

- Социологическими трудностями;
- Психологическими трудностями;
- Педагогическими трудностями.

Таким образом, все вышеизложенное позволяет выделить факторы, влияющие на развитие мотивации к изучению английского языка у студентов технических специальностей в условиях дистанционного обучения: объективные (раскрывающиеся независимо от конкретного субъекта: учебная программа, уровень подготовленности преподавателей, распорядок занятий, материально-техническая база) и субъективные (зависящие от личности студента: особенности его возраста, биографии, воспитания, образованности, желания учиться, умения самоорганизовываться и контролировать свои действия). От данных факторов зависит уровень развития мотивации студентов в новых условиях, а в конечном итоге, их успеваемость и успешность в профессиональной подготовке.

The Development of Motivation to learn English for Students of Technical Specialties in the Conditions of Distant Learning

Konvalova S.V.

MAI, Moscow, Russia

Modern distance teaching of students of technical specialties involves not only the development of their professional competence, initiative, ability to improve their qualifications, the ability to work harmoniously in a team, but also the formation of a desire to study a particular discipline. In the first place here is the motivation of the individual, since it is the thing that mobilizes and directs one to achieve certain goals. Any kind of activity requires a certain set of qualities that stimulate the motivation of behavior, its assessment and regulation in accordance with the changing conditions of the external environment. This is what has a decisive impact on the formation of the personality, the stability of its views, social activity and moral consistency.

Today, there exist a lot of classifications that reveal the specifics of student motivation to learn.

Of particular research interest is the problem of developing motivation for learning English among students of technical specialties in the context of distance learning, since in modern conditions the task of the most effective learning "at a distance", when the teacher and students are physically located in different places, is becoming increasingly relevant. It is very difficult to adapt to such conditions: the factor of time, addiction, biased attitude to this subject among students of non-linguistic specialties, etc. – all this negatively affects the quality of education. Accordingly, the development of motivation for learning English among students of technical specialties in conditions of distance learning is due to:

- Sociological difficulties.
- Psychological difficulties.
- Pedagogical difficulties.

Thus, all of the above allows us to single out factors that affect the development of motivation for learning English among students of technical specialties in distance learning: objective (unfolding regardless of a specific subject: curriculum, level of teachers' preparedness, the schedule of classes, material and technical base) and subjective (depending on the personality of the student: characteristics of his age, biography, upbringing, education, desire to learn, ability to self-organize and control their actions). The level of development of students' motivation in new conditions depends on these factors, and ultimately, their academic performance and success in professional training.

Влияние потери целостности конфигурации на длительность производственного цикла современного летательного аппарата

Константинов И.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Сборка летательного аппарата сложный процесс, собирающий в себе огромное количество процедур. В данной статье речь пойдет о сборке силовых элементов фюзеляжа.

На одном Российском предприятии, осуществляющем изготовление современных гражданских самолетов, возникла проблема, связанная с тем, что геометрическая целостность конфигурации в процессе сборки нарушается. Это выражалась в невозможности состыковать обводные шпангоуты фюзеляжа между собой. Для стыковки этих элементов, требовалось вносить изменения в ранее утвержденную конструкцию посредством засверливания новых отверстий.

С целью решения данной проблемы рассматривалась оценка точности исполнения кондукторных отверстий в стапеле, также учитывался допуск на плоскость самих приспособлений. В результате математического моделирования на базе вариационного анализа было получено, что если назначать допуски без предварительного моделирования сборки, то приблизительно в 50% случаев итоговая конструкция не сможет быть собрана.

Данная проблема является критически важной для сектора гражданской авиации во всем мире. Игнорирование этого явления способно повлечь колоссальное увеличение длительности производственного цикла, что неминуемо приведет к увеличению стоимости производственного цикла.

С целью оценки влияния потери целостности конфигурации на длительность производственного цикла была составлена имитационная модель. Имитационная модель, включает в себя различные уровни сборки, назначены времена прохождения каждой сборки на каждом этапе производства. На вход модели было подано полученное распределение собираемости узлов. Было показано, что, используя современные программные комплексы вариационного анализа становится возможным существенно сократить длительность производственного цикла летательного аппарата. Только после решения этой проблемы станет возможным переход к конвейерной сборке.

The influence of the configuration integrity loss on the product cycle duration of a modern aircraft

Konstantinov I.A.

MAI, Moscow, Russia

Aircraft assembly is a complex process that includes a huge number of procedures. This article will focus on the assembly stage of the fuselage force structure.

At one Russian enterprise that produce modern civil aircraft, a problem arose related to the fact that the geometric integrity of the configuration is violated during the assembly process. This was expressed in the impossibility of connection the fuselage bypass frames with each other. To join these elements, it was required to make changes to the previously approved structure by drilling new holes.

In order to solve this problem, the assessment of the execution accuracy of the jig holes in the slipway was considered, and the tolerance of the devices plane themselves was also taken into account. As a result of mathematical modeling based on variation analysis, it was obtained that if tolerances were assigned without preliminary modeling of the assembly, then in about 50% of cases the final structure could not be assembled.

This is a critical issue for the civil aviation sector around the world. Ignoring this phenomenon can lead a significant increase in production cycle time duration, which will inevitably lead to an increase in the cost of the production cycle.

In order to assess the impact of configuration integrity loss on the duration of the production cycle, a simulation model was created. The simulation model includes various levels of assembly, the times of passage of each assembly at each stage of production are assigned. The obtained distribution of node collection was fed to the input of the model. It was shown that using modern software systems for variational analysis it becomes possible to significantly reduce the duration of the production cycle of the aircraft. Only after solving this problem will it be possible to switch to conveyor assembly.

Масс-медиа как средство профессионализации бакалавров технических вузов

Коротун В.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

С развитием информационных технологий за первые десятилетия XXI века наблюдаются изменения, происходящие в области масс-медиа. Широкому кругу пользователей представляется информация не только на бумажных и кино-фото носителях, ставших традиционными, но и на электронных носителях, позволяющих предавать большие объемы информации на большие расстояния за более короткие промежутки времени. Анализируя возможности масс-медиа подчеркиваем факт доступности в цифровом формате как ценных инженерных архивных документов, так и новейших передовых разработок в различных областях науки и техники.

При обучении иностранному языку студентов МАИ особое внимание уделяется следующим видам масс-медиа: печатный текст, аудиотекст (подкаст), видеотекст. Работы отечественных и зарубежных ученых, рассматривающие возможность использования масс-медиа в профессиональном образовании показывают, что для профессионализации бакалавров технических вузов целесообразно применение видеуроков и видеолекций преподавателей ведущих университетов, в т.ч. зарубежных преподавателей. Данные средства помогают более полному пониманию изучаемого материала на первых курсах вузов за счет видеоряда, выгодно отличаясь от печатного текста и подкастов. Организация занятий по иностранному языку с использованием видеуроков зарубежных преподавателей позволяет формировать одновременно лингвистические и общепрофессиональные компетенции студентов.

Изучение профессионально значимых дисциплин с использованием видеолекций на иностранном языке позволяет студентам авиационных вузов не только расширить представление в профессиональной области, но и приобрести знания, необходимые для

грамотной презентации своего материала при участии в зарубежных публичных научно-практических мероприятиях.

Mass media as a means of professionalizing bachelors of technical universities

Korotun V.L.

MAI, Moscow, Russia

With the development of information technologies in the first decades of the XXI century changes are observed in the field of mass media. A wide range of users are provided with information not only on paper and film and photo media that have become traditional, but also on electronic media that allow you to transmit large amounts of information over long distances in shorter periods of time. Analyzing the possibilities of mass media we emphasize that both valuable engineering archival documents and the latest advanced developments in various fields of science and technology are available in digital form.

When teaching a foreign language, special attention is paid to the following types of mass media: printed text, audio (podcast), video. According to the papers of domestic and foreign scientists considering the possibility of using mass media in professional education it is advisable to use video tutorials and video lectures by teachers of leading universities including foreign teachers for the professionalization of bachelors of technical universities. These tools help to better understand the material being studied in the first years of higher education through visualization which compares favorably with printed text and podcasts. The organization of classes in a foreign language using video lessons from foreign teachers allows you to form both linguistic and common professional competencies of students.

Studying professionally significant subjects using video lectures in a foreign language allows students of aviation institutes not only to expand their knowledge in the professional field but also to acquire the knowledge necessary for a competent presentation of their material when participating in foreign public scientific and practical events.

Повышение качества организации постпроизводственных стадий жизненного цикла авиационной техники

Корчагин А.А., Денискин Ю.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из доминирующих тенденций развития мирового авиационного рынка является смещение приоритетов ведения бизнеса от непосредственной продажи авиационной техники к предоставлению заказчику комплексных решений и услуг по ее обслуживанию. В связи с этим авиапроизводители вынуждены решать ключевую задачу организации эффективной системы сервиса и послепродажного обслуживания (ППО) авиационной техники на постпроизводственных стадиях ее жизненного цикла.

Кроме этого для обеспечения конкурентоспособности отечественной продукции на мировом рынке требуется соответствие качества авиационной техники и услуг по ее обслуживанию современным мировым стандартам, что является одной из проблемных областей.

Для повышения качества услуг ППО применяются различные методы и подходы при организации системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) авиационной техники, позволяющие сократить время и затраты на ремонты:

1) Инструменты бережливого производства.

Методология бережливого производства направлена на сокращение различного рода потерь, (потери из-за перепроизводства, ожидания, излишней обработки и пр.) не создающих ценности для заказчика.

2) Инструменты Индустрии 4.0.

Применение современных цифровых технологий Индустрии 4.0, таких как Интернет вещей, анализ больших данных, аддитивное производство, роботизация и пр., позволяют достичь сквозной цифровизации и создать гибкие системы, позволяющие участникам жизненного цикла изделия в режиме реального времени обмениваться информацией по обслуживанию высокотехнологичной авиационной техники.

3) Методология обслуживания, ориентированного на надежность.

Эта методология определяет комплекс мер, позволяющих приблизиться к первоначальному, определенному при проектировании показателю надежности авиационного оборудования, и минимизировать риски возникновения его отказов при минимальных затратах.

В докладе подчеркивается важность решения актуальных для отечественного авиастроения задач, связанных с разработкой научно-методического обеспечения повышения качества и эффективности работ на постпроизводственных стадиях жизненного цикла авиационной техники.

Improving the quality of organization at the post-production stages of the aircraft life cycle

Korchagin A.A., Deniskin Y.I.

MAI, Moscow, Russia

One of the main trends of the global aviation market development is the transition in business priorities from aircraft sales to providing customers with comprehensive solutions and maintenance services. In this regard, manufacturers of aviation products have to solve the key task of organizing an effective aircraft's after-sales support and services system on the post-production stages of its life cycle.

Moreover, for ensuring the competitiveness of domestic products on the world market it is also extremely necessary to guarantee that the quality of aircraft and its maintenance services meets the modern international standards, which is currently one of the problematic areas.

For improving the aircraft's after-sales support and services' quality various methods and practices could be used for organizing the aviation products maintenance, repair and overhaul (MRO) system, which make it possible to reduce the repair time and costs:

1) Lean Manufacturing methods.

Lean Manufacturing methodology is aimed on the avoiding of unnecessary wastes, (such as wastes due to overproduction, waiting, excessive processing and etc.) which don't gives the value for the customer.

2) Industry 4.0 technologies.

The implementation of modern digital technologies of Industry 4.0, such as Internet of Things, big data analysis, additive manufacturing and robotics, could lead to end-to-end digitalization and creation of flexible systems, which allow participants of the product life-cycle to exchange aircraft maintenance information in real time.

3) Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology.

This strategy defines the set of measures, which could lead to achieving the inherent reliability capabilities of the equipment for which they are designed and minimizing the risks of equipment failure at minimum costs.

The report emphasizes the importance of solving the actual domestic aviation industry problems related to the development of scientific and methodological support for improving the work quality and efficiency at the post-production stages of the aircraft's life cycle.

Теоретические основы энергоэффективного развития высокотехнологичной промышленности в условиях цифровой экономики

Кошелев А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

На основе анализа данных состояния энергосбережения в сфере промышленности установлено, что совокупный потенциал энергосбережения Российской экономики составляет 440 млн. Выявлено, что одним из основных энергоемких секторов промышленности выступает отрасль машиностроения. Основными потребителями энергии на производстве являются производственные и обеспечивающие мощности. Поэтому наиболее ощутимый эффект энергосбережения может быть получен путем применения энергосервисных контрактов и внедрения энергоэффективных технологий. В результате исследования понятия и сущности энергоэффективных технологий, было сформировано собственное определение термина. Проблема внедрения энергосберегающих технологий

связана с отсутствием системного подхода. Описан системный подход к внедрению энергосберегающих технологий. Разработана собственная классификация энергоэффективных технологий по отдельным классификационным признакам. Согласно классификационным признакам рассмотрены отдельные виды энергоэффективных технологий. В настоящее время наблюдается тенденция развития цифровых технологий в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Описано обоснование важности цифровой трансформации в контексте Четвертой промышленной революции с целью развития инновационной промышленности. В ходе исследования автором была определена взаимосвязь между цифровизацией и энергосбережением на предприятии. Проведен краткий обзор ключевых направлений цифровизации производства и отдельных цифровых технологий. Приведено обоснование необходимости системного подхода к управлению энергоэффективностью. Разработаны принципы системного управления энергоэффективностью с учетом процессов цифровизации производства.

Theoretical foundations of energy efficient development of high-tech industry in the digital economy

Koshelev A.S.

MAI, Moscow, Russia

Based on the analysis of the data on the state of energy saving in the industrial sector, it was established that the total energy saving potential of the Russian economy is 440 million. It was revealed that one of the main energy-intensive industrial sectors is the mechanical engineering sector. The main consumers of energy in production are production and supply capacities. Therefore, the most tangible effect of energy saving can be obtained through the use of energy service contracts and the introduction of energy efficient technologies. As a result of research into the concept and essence of energy efficient technologies, its own definition of the term was formed. The problem of introducing energy-saving technologies is associated with the lack of a systematic approach. A systematic approach to the implementation of energy-saving technologies is described. We have developed our own classification of energy efficient technologies based on separate classification criteria. Certain types of energy efficient technologies are considered according to the classification criteria. Currently, there is a trend towards the development of digital technologies in high-tech industries.

The rationale for the importance of digital transformation in the context of the Fourth Industrial Revolution for the development of an innovative industry is described. In the course of the study, the author determined the relationship between digitalization and energy conservation at the enterprise. A brief overview of the key areas of digitalization of production and individual digital technologies is carried out. The substantiation of the need for a systematic approach to energy efficiency management is given. The principles of systemic management of energy efficiency have been developed, taking into account the processes of digitalization of production.

Риск-менеджмент в управлении персоналом

Краев В.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Предприятия аэрокосмической отрасли в последние 10 лет переживают мощный подъем, вызванный увеличением объемов производства. Необходимость эффективного формирования и использования кадрового потенциала, повышение производительности труда и снижения операционных расходов возрастает [1].

Для предприятий авиационного и космического комплекса риск-менеджмент является относительно новой сферой приложения знаний, тем не менее, риск ориентированный подход позволит существенно снизить операционные потери предприятий.

Производственные циклы на предприятиях отрасли, как и в любом бизнес-процессе сопряжены с различными неблагоприятными воздействиями как внешнего, так и внутреннего характера – рисками. Реализация таких воздействий приводит к финансовым потерям предприятия, зачастую ощутимым.

Современный подход по управлению риском должен не только выявлять и минимизировать уже реализовавшиеся риски, но и управлять рисками с опережением рисков случаев [2]. Работа операционного риск-менеджмента заключается в анализе причин рисков, выработке решений для их минимизации, формировании плана по минимизации рисков и мониторинга его выполнения [3].

Одной из серьезных кадровых проблем на предприятии являются конфликтные ситуации. Итогом конфликтов руководителей разного уровня может стать не только замедление производственного процесса, но и его полная остановка. Следует обратить внимание на тот факт, что современные зарубежные и отечественные методики позволяют выявлять конфликт на стадии его проявления, когда рискованные потери от него уже начинают фиксироваться.

Раннее выявление конфликтов на предприятии является перспективным направлением. Научная школа МАИ работает над созданием модели, которая позволит выявлять на ранних стадиях не только конфликтные ситуации между участниками производственного процесса, но и сотрудников, которые в перспективе могут занять позиции руководителей более высокого уровня.

Литература:

1. Тихонов В.А., Краев В.М. Состояние и основные проблемы инновационной активности в Российской Федерации. Московский экономический журнал. 2016. № 4. С. 41.
2. Краев В.М., Тихонов А.И. Риск-менеджмент в управлении кадрами. Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2016 год. №8-2 21. Стр. 22-25.
3. Краев В.М., Тихонов А.И. Особенности кадровой работы на предприятиях оборонно-промышленного комплекса для повышения экономической безопасности. Материалы 51-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. 2016. С. 447-448.

Risk management in human resources

Kraev V.M.

MAI, Moscow, Russia

The aerospace industry during last 10 years have significant rise caused by the production increase. The necessity of effective formation and utilization of human resources, productivity increase and operating costs reduce rises [1].

For an aviation and space industry risk management is a relatively new knowledge area, however, the risk based approach can significantly reduce the operating companies losses.

Production cycles in the industry, as in any business process are associated with various adverse both external and internal risks. The risk accomplishment leads to financial losses, tangible for the industry.

A modern approach to risk management should not only identify and minimize risks that have already been realized, but also manage risks ahead of risk cases [2]. This approach makes it possible to manage risks without waiting for a financial loss, and is extremely attractive from a financial point of view. In this approach, the acceptable risk level is considered to be no higher than 0.1% of the gross revenue of a particular business process. A risk level of 10% or more is considered unacceptable. The work of operational risk management is to analyze the causes of risks, develop solutions to minimize them, form a plan to minimize risks and monitor its implementation [3].

One of the serious personnel problems at the enterprise is conflict situations. The result of conflicts between managers at different levels can be not only a slowdown in the production process, but also its complete stop. We should pay attention to the fact that modern foreign and domestic methods allow you to identify the conflict at the stage of its manifestation, when the risk losses from it are already beginning to be realized.

Early detection of conflicts in the enterprise is a perspective task. The scientific school of MAI is working on the development of a model that will allow identifying at an early stage not only

conflict situations between participants in the production process, but also employees who may take positions of higher-level managers in the future.

References:

1. Tikhonov V.A., Kraev V.M. Moscow economic journal. 2016. № 4. P. 41.
2. Kraev V.M., Tikhonov A.I. Konkurentosposobnost v globalnom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii. 2016. №8-2 (21).Pp. 22-25.
3. Kraev V.M., Tikhonov A.I. Paper of 51-st scientific readings of memory of K. E. Tsiolkovsky. 2016. C. 447-448.

Проведение ребрендинга российских лоукост-авиакомпаний

Краснянский Д.Е., Скорик А.В., Анненкова А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Лоукост авиакомпания – это самый быстроразвивающийся сегмент индустрии гражданских авиаперевозок. Хотя концепция бюджетных авиакомпаний изначально появилась в ЕС, где авиабизнес характеризуется высоким уровнем конкуренции, имеются многочисленные авиакомпании, и существует специальное законодательство, нацеленное на развитие конкуренции и противодействие монополистическим тенденциям, данный тренд в авиаиндустрии приобрел массовое и глобальное признание. В России тоже возникли проекты по внедрению подобного формата авиакомпании. В силу определенных объективных и субъективных причин процесс внедрения в российской гражданской авиации формата лоукост происходит с существенными затруднениями. Кроме этого возникают и проблемы, обусловленные "российской спецификой" бизнеса и адаптационными сложностями приспособления формата, далекого от реалий российской регуляторной практики и базовых подходов к бизнесу в стратегических отраслях экономики. Авиакомпания, позиционирующие себя как бюджетные, рассчитаны на обеспечение пассажиров авиабилетами по низким ценам с предоставлением минимального сервиса. Но иногда, происходит так, что данные авиакомпании не могут позволить обеспечить высокое качество своих услуг, что в свою очередь чревато падением не только репутации, но и доверия как реальных, так и потенциальных клиентов. Однако данную проблему возможно решить при правильном построении стратегии ребрендинга, когда появляется возможность изменить сложившуюся ситуацию в лучшую сторону.

Для более детального изучения данной проблемы, в докладе будут рассмотрены следующие пункты:

- Выявление проблем и проведение анализа рынка.
- Процесс ребрендинга авиакомпании (разработка и обоснование нейминга, анализ и подбор логотипа, предложение и описание идеи и миссии авиакомпании, герой бренда, идеи дизайна корпоративной документации, сувенирной продукции, брендбук, цвето-графические решения).
- Формирование внутрикorporативных коммуникаций(формирование корпоративной культуры).
- Разработка коммуникационной программы с внешней средой (коррекция целевой аудитории и ее средств взаимодействия с организацией; выбор информационных поводов и т.д.).
- Разработка благотворительной программы.

Rebranding of the Russian low-cost airlines

Krasnyanskiy D.E., Skorik A.V., Annenkova A.I.

MAI, Moscow, Russia

Airlines that position themselves as low-cost airlines are designed to provide passengers with services such as air tickets at low prices with the provision of minimal service. And, unfortunately, airlines of this type often neglect the quality of their own services, which in turn is fraught with a drop not only in reputation, but also in the trust of both real and potential customers. And here it is important to take into account the fact that it is this neglect that also hinders the company's promotion on the air transportation market and attracting additional sponsors in this area. However,

there is a way out! With the correct construction of the rebranding strategy, it becomes possible to change the current situation for the better.

For a more detailed study of this problem, the report will consider the following points:

- Identification of problems and analysis and research of the air transportation market on a specific example.
- "Second Wind" or low-cost airline rebranding program.
- Formation of intra-corporate communications (that is, the formation of a corporate culture).
- Development of a communication program with the external environment (correction of the target audience and its means of interaction with the organization; selection of news stories, etc.).
- Participation in socially significant problems of society – development of a charitable program (for example, the help of the "Butterfly Children" fund).

All of the above points are only a small part of the rebranding process, which will be considered on a specific example of a low-cost airline, developed and invented by us.

Совершенствование системы государственного оборонного заказа для создания инновационной продукции военного назначения

Кудякин Р.А., Горелов Б.А., Трегубенков С.Ю., Бурдина А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В исследовании изучены объекты, субъекты и механизмы государственного оборонного заказа (ГОЗ), выделены проблемы ГОЗ на продукцию военного назначения. Рассмотрена сущность понятия инновационной продукции. Проанализировано нормативно-правовое обеспечение ценообразования при формировании и выполнении государственного оборонного заказа. Проведён анализ существующей системы государственного оборонного заказа для выпуска инновационной продукции военного назначения в авиационной отрасли. Проблемами существующей системы государственного оборонного заказа для выпуска инновационной продукции военного назначения в авиационной отрасли являются : завышение себестоимости продукции и , как следствие, цены, недостаточно качественное выполнение ГОЗ предприятиями, значительный временной интервал между первой и последней фазой процедур ГОЗ.

Проведён финансово-экономический анализ исполнителей ГОЗ. Выявлены ключевые проблемы предприятий. Анализ структуры затрат по проектам предприятий оборонно-промышленного комплекса. Проведён анализ существующей системы ценообразования при формировании и выполнении государственного оборонного заказа. Разработана структура механизма государственного оборонного заказа для создания инновационной продукции военного назначения в авиационной отрасли особенностями которого является:

- Сокращение временного интервала принятия решения, ликвидация промежуточных фаз.
- Запуск макета на нескольких предприятиях –исполнителях ГОЗ в момент времени t0, что способствует развитию данных исполнителей.
- Предоставление финансирования на макет под банковские гарантии всем потенциальным исполнителям ГОЗ.
- Принятие решение о ГОЗ после анализа всех макетов-образцов предприятий потенциальных исполнителей.

Проведён сравнительный анализ существующей и разработанной системы государственного оборонного заказа для создания инновационной продукции военного назначения на основе количественных оценок факторов: цен, качества, времени. Обоснована эффективность предложенного механизма государственного оборонного заказа для создания инновационной продукции военного назначения в авиационной отрасли.

Improving the system of state defense orders to create innovative military products

Kudyakin R.A., Gorelov B.A., Tregubenkov S.Y., Burdina A.A.

MAI, Moscow, Russia

The study examines the objects, subjects and mechanisms of the state defense order (SDO), highlights the problems of the SDO for military products. The essence of the concept of innovative products is considered. The article analyzes the legal and regulatory framework for pricing in the

formation and implementation of the state defense order. The analysis of the existing system of state defense orders for the production of innovative military products in the aviation industry is carried out. The problems of the existing system of state defense orders for the production of innovative military products in the aviation industry are: overestimation of the cost of production and, as a result, prices, insufficient quality implementation of the state defense order by enterprises, a significant time interval between the first and last phases of the state defense order procedures.

A financial and economic analysis of SDO executors was carried out. The key problems of executors are identified. Analysis of the cost structure for projects of enterprises of the military-industrial complex. The analysis of the existing pricing system in the formation and implementation of the state defense order is carried out. The structure of the mechanism of the state defense order for the creation of innovative military products in the aviation industry has been developed, the features of which are:

- Reduction of the time interval for decision-making, elimination of intermediate phases.
- Launching the layout at several enterprises – executors of the state defense order at the time t_0 , which contributes to the development of these executors.
- Provision of financing for the layout under bank guarantees to all potential executors of the state defense order.
- Making a decision on the state defense order after analyzing all model samples of enterprises of potential executors.

A comparative analysis of the existing and developed system of state defense orders for the creation of innovative military products based on quantitative estimates of factors: prices, quality, time is carried out. The effectiveness of the proposed mechanism of the state defense order for the creation of innovative military products in the aviation industry has been substantiated.

Особенности PR-коммуникаций холдинга «Вертолеты России

Кушвахва Х.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Анализ PR-коммуникаций холдинга «Вертолеты России», направленных на сохранение ниши на международном рынке, позволяет выявить сильные и слабые стороны международной PR-деятельности, оценить эффективность как внешних, так и внутренних коммуникаций, способствующих сохранению положительного имиджа организации, поддержанию репутации авиапредприятия на высоком уровне.

Новизна заключается в недостаточной изученности влияния санкций на эффективность PR-коммуникаций холдинга «Вертолеты России» при продвижении продуктов и услуг компании на международном рынке.

Анализ PR-коммуникаций холдинга «Вертолеты России» позволяет сделать вывод, что они направлены на привлечение инвесторов и клиентов. Основные задачи, которые ставит компания на международном рынке при информационном освещении своей деятельности – это акцентирование внимания целевой аудитории на использовании новых материалов и новых технологий при конструировании и производстве вертолетов, информирование о конкурентных преимуществах, о безопасности и высоких технических характеристиках своих винтокрылых машин.

Оценивая эффективность PR-коммуникаций холдинга «Вертолеты России» в условиях санкций было выявлено, что на данный момент компания сталкивается с большими трудностями при освещении своей деятельности, в связи с сокращением возможности выхода на международные информационные площадки. В связи с этим компания активизировала свою информационную деятельность в сети интернет (на собственном сайте, в социальных сетях), что позволяет ей информировать общественность и заинтересованные целевые аудитории о своих достижениях оперативно и систематически. Активное участие в профильных выставках способствует размещению информации в зарубежных специализированных средствах массовой коммуникации, что благоприятствует сохранению репутации и поддержанию позитивного имиджа на внутреннем и международном рынке.

Для повышения эффективности PR-коммуникаций холдинг «Вертолеты России» активно сотрудничает с отечественными и зарубежными СМИ, создавая инфоповоды, привлекая экспертов, публикуя имиджевые и PR-статьи, цель которых повышение интереса целевой аудитории к продуктам и деятельности холдинга; сохранение лояльности клиентов, партнеров и инвесторов; в социальных сетях систематически размещает и обновляет информацию, оперативно реагирует на комментарии посетителей.

Peculiarities of PR-Communications of the Russian Helicopters Holding

Kushvakha K.N.

MAI, Moscow, Russia

The relevance of this study lies in the fact that the importance of PR-communications in high-tech companies' activities amid tough international sanctions is increasing. The analysis of the PR communications of the Russian Helicopters Holding aimed at preserving a segment in the international market makes it possible to highlight the strengths and weaknesses of the international PR activities, to assess the effectiveness of both external and internal communications that help keep up the company's positive image, maintain the aviation company's image at a high level.

The novelty is determined by the lack of sufficient research into the impact of sanctions upon the effectiveness of PR-communications of the Russian Helicopters Holding while promoting the company's products and services in the international market.

PR communications of the Russian Helicopters Holding allows us to conclude that they are aimed to attract investors and clients. The main tasks include focusing the target audience' attention on the fact that they use new materials and new technologies when they design and produce the helicopters, and informing about their competitive advantages, safety and high technical characteristics of its rotary-wing aircraft.

While assessing the effectiveness of the PR communications of the Russian Helicopters Holding amid the sanctions, we have revealed that at the moment the company is facing great difficulties in covering its activities because there are less opportunities to enter the international information platforms. In this regard, the company has stepped up its information activities on the Internet (on its own website, in social media), which allows it to inform promptly and systematically the public and interested target groups about its achievements. Active participation in the industry exhibitions helps place the information in the foreign specialized mass media, which is favourable for maintaining the company's goodwill and sustaining its positive image in the domestic and international market.

To improve the efficiency of the PR communications the Russian Helicopters Holding actively organizes newsworthy events, attracting experts, publishing image and PR articles aimed to increase the target audience's interest in the holding's products and activities, to maintain the loyalty of customers, partners and investors; it systematically posts and updates information on social networks, responds promptly to comments from visitors.

Проблемы государственного управления в области развития авиации общего назначения

Кущёв Н.П.

МАИ, г. Москва, Россия

В целях безусловного выполнения стратегических социально-экономических и технологических задач, а также активизации деятельности органов власти всех уровней по инициативе Президента Российской Федерации В.В. Путина с января с. г. проводятся серьезные структурные и организационные преобразования, как в системе государственного управления, так и в сфере экономики. «...Их реализация требует нового качества государственного управления...» – заявил он в Послании Федеральному Собранию[1]. Данные требования направлены в том числе, и на изменение подходов государственной политики в сфере гражданской авиации в целом, и регулирование процессов развития авиации общего назначения (далее-АОН). Интерес к АОН растет во всём мире. Так, экономике США, АОН дополнительно приносит \$150 млрд. и создает 1,3 млн. раб. мест. При этом в США на 100 тыс. чел. приходится 76,5 судов малой авиации, а только в одном

штате Аляска (с близким к Российскому климату) – 1714 ед. на 100 тыс. чел. Для сравнения в России – всего 3,1 ед. Это обусловлено тем, что хотя гражданская авиация для развития экономики России имеет стратегическое значение (только воздушное сообщение позволяет на её обширной территории оперативно обеспечивать население медицинскими услугами, товарами первой необходимости и т.д.). Но российские авиакомпании не заинтересованы в таких полётах и их коммерческое воздействие минимально или убыточно. Ключевым препятствием на пути формирования АОН является отсутствие её нормативного регулирования в законодательстве Российской Федерации. Это касается Воздушного кодекса РФ, который не соответствует: действующей Конституции РФ; положениям Конвенции о международной гражданской авиации и фактически не регламентирует АОН (не определена возможность ведения коммерческой деятельности, в том числе проведения авиационных работ, допускается двойная трактовка основных положений АОН), и тем самым сокращает диапазон её возможностей, что и создало условия, при которых данный сектор гражданской авиации стал экономически непривлекательным.

Таким образом, необходимость совершенствования законодательства в сфере гражданской авиации является приоритетной задачей, ибо отсутствие детально проработанной правовой базы, оказывает отрицательное воздействие как на безопасность её функционирования, так и на рост экономики страны.

Литература:

1. Послание Федеральному собранию Президента Российской Федерации В.В. Путина 15.01.2020/ [Электронный ресурс] <http://www.kremlin.ru/events/president/news/62528>.

Problems of public administration in the field of general aviation development

Kushchev N.P.

MAI, Moscow, Russia

Since January of this year, serious structural and organizational changes have been carried out both in the system of state administration and in the economic sphere in order to fulfill the strategic socio-economic and technological tasks unconditionally, as well as to activate the activities of government bodies at all levels. "...Their implementation requires a new quality of public administration..." – he said in a Message to the Federal Assembly[1]. These requirements are aimed, among other things, at changing the approaches of state policy in the field of civil aviation in General, and regulating the development of General aviation (hereinafter-GA). Interest in GA is growing all over the world. Thus, the US economy, GA additionally brings in \$150 billion. and creates 1.3 million slaves. places. At the same time, in the United States per 100 thousand people. there are 76.5 small aircraft vessels, and only in one state of Alaska (with a climate close to the Russian one) – 1714 units per 100 thousand people. For comparison, in Russia – only 3.1 units. This is due to the fact that although civil aviation is of strategic importance for the development of the Russian economy (only air traffic allows its vast territory to quickly provide the population with medical services, essential goods, etc.). But Russian airlines are not interested in such flights and their commercial impact is minimal or unprofitable. The key obstacle to the formation of an AON is the lack of its regulatory regulation in the legislation of the Russian Federation. This applies to the Air code of the Russian Federation, which does not correspond to the existing Constitution; the provisions of the Convention on international civil aviation and does not actually reglamentary caller ID (not the possibility of carrying out commercial activities, including aerial work, allowed a double interpretation of the main provisions of GA), and thereby reduces the range of its capabilities, which has created the conditions under which the civil aviation sector has become economically unattractive.

Thus, the need to improve legislation in the field of civil aviation is a priority, because the lack of a detailed legal framework has a negative impact on both the safety of its operation and the growth of the country's economy.

References:

1. Message to the Federal Assembly of the President of the Russian Federation V. V. Putin 15.01.2020/ [Electronic resource] <http://www.kremlin.ru/events/president/news/62528>

Энергосберегающие технологии в машиностроении

Латыпов Э.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

Энергопотребление в России может быть сокращено практически в два раза, а высвобождение ресурсов за счет применения энергоэффективных технологий поможет существенно сократить инвестиции в энергетическую инфраструктуру. Формирование метода управления энергоэффективностью машиностроительного предприятия в условиях модернизации экономики будет способствовать сбалансированному технологическому инновационному и экономическому развитию предприятий машиностроения, энергетики и других отраслей экономики. Модернизация экономики есть совокупный процесс, который включает в себя технологические и организационные изменения. На современном этапе главным вектором направления является развитие микроэкономического уровня на предприятиях, управления, так как на данный момент большую роль играет создание функционально-эффективной, стратегически-ориентированной модернизированной экономики. Предприятиям, с множеством функциональных и институциональных проблем, необходимо приспособиться к условиям модернизации, для наиболее оптимального, результативного применения ресурсов, а также выпуска конкурентоспособного продукта. Осуществление задач основывается на непрерывном улучшении технической и технологической сторон производства, форм и методов управления с учетом отраслевых особенностей и общей экономической ситуации. Перед руководством предприятия, в связи с ускорением темпов экономических изменений, определяются задачи по поиску и формированию конкурентных преимуществ, которые позволяют хозяйственным субъектам приспособиться к постоянным переменам. Основные направления изменений должны предусматривать усовершенствование методологии управления в целом и планирования в частности. Выход на современный уровень производства могут быть достигнуты путем:

- Освоения производства товаров современного научно-технического уровня в масштабах, которые позволяют предприятиям удерживать позиции на рынке.
- Замены оборудования и технологий более передовыми, производительными.
- Включения в новейшие инновационные процессы.
- Применения всех значимых нововведений, в том числе в управленческой сфере, что даст возможность получать положительный результат в условиях модернизации и глобализации.
- Переподготовок, переквалификации или набора новых кадров, усвоения ими новых навыков и мышления, надлежащего условиям времени.
- Создание производственной структуры, соответствующей критериям развитой экономики.

Energy saving technologies in mechanical engineering

Latypov E.R.

MAI, Moscow, Russia

Energy consumption in Russia can be reduced by almost half, and freeing up resources through the use of energy efficient technologies will help to significantly reduce investments in energy infrastructure. The formation of a method for managing the energy efficiency of a machine-building enterprise in the context of economic modernization will contribute to a balanced technological, innovative and economic development of enterprises in machine-building, energy and other sectors of the economy. The modernization of the economy is a cumulative process that includes technological and organizational changes. At the present stage, the main vector of the direction is the development of the microeconomic level at enterprises, management, since at the moment the creation of a functionally effective, strategically oriented modernized economy plays an important role. Enterprises with many functional and institutional problems need to adapt to the conditions of modernization, for the most optimal, efficient use of resources, as well as the release of a competitive product. Implementation of the tasks is based on continuous improvement of the technical and technological aspects of production, forms and methods of management, taking into account industry characteristics and the general economic situation. Before the management of the

enterprise, in connection with the acceleration of the pace of economic changes, tasks are determined to find and form competitive advantages that allow economic entities to adapt to constant changes. The main directions of changes should provide for the improvement of management methodology in general and planning in particular. Reaching the modern level of production can be achieved by:

- Mastering the production of goods of a modern scientific and technical level on a scale that allows enterprises to maintain their positions in the market.
- Replacement of equipment and technologies with more advanced, productive ones.
- Inclusion in the latest innovative processes.
- Application of all significant innovations, including in the management sphere, which will make it possible to obtain a positive result in the context of modernization and globalization.
- Retraining, retraining or recruiting new personnel, assimilating new skills and thinking, appropriate to the conditions of the time.
- Creation of a production structure that meets the criteria of a developed economy.

Формальное соотношение между задачами управления требованиями к продукции и качеством продукции

Лесик Е.С.

МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день проектирование и выпуск аэрокосмической техники остается сложнейшей инженерной задачей, на решение которой отводятся годы разработок. Основной причиной высокой сложности задачи является необходимость выработки и учета огромного количества требований к конструкции и технологической системе ее изготовления. При этом успешность завершения всего проекта напрямую зависит от степени удовлетворенности исходных требований заказчиков. Как следствие, на предприятиях аэрокосмической отрасли становится актуальной проблема наличия регламентированных процедур по управлению требованиями. В то же время на таких предприятиях обязательно наличие процедур управления качеством, одной из ключевых задач которых, аналогично управлению требованиями, является контроль соблюдения требований к продукции и технологической системе ее изготовления. Отсюда возникает потребность в очерчивании границ между задачами систем управления требованиями и управления качеством к продукции. Таким образом, целью проводимого исследования является построение формального соотношения между задачами указанных систем.

В работе была предложена модель представления систем на основе тандемной модели [1], определившей общие правила взаимодействия элементов рассматриваемых систем. Также в ходе исследования была рассмотрена специфика задач управления требованиями и управления качеством к продукции, приведены формальные правила функционирования систем, установлено шестнадцать критериев, по которым было проведено сравнение систем.

В результате исследования были определены формальные свойства систем управления требованиями и качеством к продукции, дано формальное соотношение между ними. Предложенная модель представления систем позволяет гарантировать соблюдение всех требований, формируемых в процессе функционирования систем управления качеством и управления требованиями.

Полученные результаты предназначены для использования в дальнейших исследованиях процедур формирования требований при решении проектных задач, в частности разработки алгоритмов детализации требований в проектных задачах.

Литература:

1. Падалко С.Н. Определение тандемной модели как базовой формы представления многоуровневых математических моделей при проектировании аэрокосмической техники// Труды МАИ. 2013. № 71. С. 27.

Formal relation between the tasks of managing product requirements and product quality

Lesik E.S.

MAI, Moscow, Russia

Today, the design and production of aerospace engineering remains the most difficult engineering task, which solution takes years of development. The main reason for the high complexity of the problem is the need to develop and take into account a huge number of requirements for the design and the technological system for its manufacture. At the same time, the success of the completion of the entire project directly depends on the degree of satisfaction of the initial requirements of the customers. As a result, at the enterprises of the aerospace industry, the problem of the existence of regulated procedures for managing requirements becomes actual. At the same time, such enterprises must have quality management procedures, one of the key tasks of which, similarly to requirements management, is to control compliance with the requirements for products and the technological system of their manufacture. Hence the need arises to delineate the boundaries between the tasks of product requirements management systems and product quality management. Thus, the purpose of this study is to build a formal relationship between the tasks of these systems.

The paper proposed a model for representing systems based on a tandem model [1], which defined the general rules for the interaction of elements of the systems under consideration. Also, during the study, the specificity of the tasks of managing requirements and product quality management was considered, formal rules for the functioning of systems were given, sixteen criteria were established, according to which the systems were compared.

As a result of the study, the formal properties of the requirements and quality management systems for products were determined, a formal relationship between them was given. The proposed model for representing systems allows us to guarantee compliance with all the requirements formed in the process of functioning of quality management and requirements management systems.

The results obtained are intended for use in further studies of procedures for the formation of requirements in solving design problems, in particular, the development of algorithms for detailing requirements in design problems.

References:

1. Padalko S.N. Determination of the tandem model as a basic form of representation of multilevel mathematical models in the design of aerospace technology // Trudy MAI. 2013. No. 71, p. 27.

Актуальные задачи авиационной психологии

Лысаков Н.Д., Лысакова Е.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

В 21 веке развитие авиационной психологии при решении теоретических и практических задач связано с обоснованием методов подготовки авиационного персонала для полетов на высокоавтоматизированной авиационной технике. Авиационная психология направлена на решение проблем повышения надежности системы «человек-машина-среда» и безопасности полетов. В настоящее время авиационная профессия приобретает параметры «летчик-летательный аппарат-аэрокосмическая система». Единая аэрокосмическая система существует в сложной информационной среде, которая динамично изменяется.

Компьютерные системы успешно решают задачи пилотирования и навигации. В современном самолете система управления полетом автоматически обеспечивает требуемые характеристики стабильности и управляемости во всем диапазоне эксплуатационных режимов полета; показывает главные пилотажно-навигационные параметры, сигнализирующие об его положении и выдает команды для оператора. В ходе полета на самолете летчик находится в условиях, уже известных ему по тренажеру с виртуальной реальностью, а дополненная реальность (например, изображение положения взлетно-посадочной полосы в условиях ограниченной видимости) облегчает процесс пилотирования на глиссаде снижения и посадке.

Однако в случае опасной ситуации именно человек должен принять ответственные решения. Поэтому у пилотов должен быть высокий уровень развития таких качеств, как смелость, креативность. Актуальные задачи авиационной психологии следующие:

- Обоснование технологии сбалансированной подготовки оператора на тренажере и в реальном полете.
- Исследование особенностей подготовки на тренажере с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности.
- Разработка новых методов формирования психологической готовности к экстремальным ситуациям.
- Введение современной системы психологического отбора абитуриентов с прогнозированием профессионального развития в авиации.
- Изучение профессионально важных качеств специалистов наземных служб.
- Определение актуальных направлений интеграции авиационной и космической психологии.

Relevant Tasks of Aviation Psychology

Lyssakov N.D., Lyssakova E.N.

MAI, Moscow, Russia

The 21st century challenges aviation psychology with both theoretical and practical tasks connected with a new methodology of training the flying staff to use highly-automated. One of the purposes of aviation psychology is to make both the "man-machine-environment" system and flight operating reliable and safe. Now aviation profession takes the setting of "pilot-aircraft-aerospace system". The combined aerospace system exists in a complex information environment which dynamically changes.

Computer systems successfully solve the tasks of piloting and navigation. In modern aircraft the flight control system automatically provides required characteristics of stability and controllability in all range of operational flight modes; it displays main flight-navigation parameters signaling about its state and giving team-requirements for operator actions. During a flight, the pilot is in conditions already known to him by a simulator with virtual reality, and augmented reality (for example, image of the position of the runway in conditions of limited visibility) facilitates the process of piloting on the glide path and landing.

However, if a dangerous situation suddenly occurs, a human being will take responsible decisions. Therefore, the personnel should have a high level of such qualities as courage, creativity and responsibility, that is, to combine the best psychological qualities of a cosmonaut, a test pilot.

The relevant tasks of aviation psychology are as follows:

- Working out techniques of balanced training using simulators and in the real flight.
- Investigation of training features by a simulator with virtual reality and augmented reality.
- Development of modern methods of developing the ability to make decisions in emergencies.
- Introduction of psychological selection which helps to assess the prospects for personal development in professional aviation.
- Study of professionally important qualities in ground service specialists.
- Determination of important trends of integrating aviation psychology with space psychology.

Формирование системы корпоративного партнёрства технических вузов с предприятиями аэрокосмической отрасли

Ляликова Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В эпоху четвертой промышленной революции технологии меняются очень быстро, поэтому основная задача, которая стоит перед техническим университетом – подготовить людей, которые будут уверенно себя чувствовать в новой цифровой среде.

Студенты должны иметь опыт с исследовательской деятельностью и решать конкретные задачи. Вузу необходимо создать условия, при которых высокие технологии станут доступными. Студенты должны в течение всего обучения быть связанными с индустрией, знакомиться с различными отраслями и реальными задачами предприятий аэрокосмической

отрасли. Это позволит молодым специалистам строить свои индивидуальные образовательные траектории и формировать свою карьеру.

Реализация данной концепции возможна при условии формирования системы корпоративного партнёрства между техническими вузами и предприятиями аэрокосмической отрасли, направленное на долгосрочное сотрудничество. Основная задача корпоративного партнёрства – это профессиональная подготовка специалистов для предприятий аэрокосмического сектора путем объединения интеллектуальных, материальных, финансовых и корпоративных ресурсов вуза и предприятия.

Корпоративное партнерство между техническим вузом и предприятием аэрокосмического комплекса может быть достигнуто путем внедрения определенных элементов в систему образования: подготовка вузом специалистов аэрокосмической отрасли с учетом перспектив развития предприятия; реализация программы целевого обучения студентов в университете на всех уровнях обучения; формирование системы индивидуального сопровождения и наставничества со стороны предприятий, постановка студентам производственных задач, контроль достижения целевых показателей; решение производственных задач, проведение практик студентов и научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на профильных предприятиях; привлечение предприятий к разработке новых образовательных программ и стандартов при подготовке специалистов аэрокосмической отрасли; внедрение в систему обучения курсов, которые позволят повысить уровень soft skills у молодых специалистов: изучение иностранного языка, работа со специализированными IT-продуктами, используемых в аэрокосмической отрасли и т.п.

Таким образом, формирование системы корпоративного партнёрства технических вузов с предприятиями аэрокосмической отрасли позволит обеспечить профессиональную и востребованную подготовку специалистов, повышение качества образовательных услуг в вузе и увеличение конкурентоспособности выпускников технических вузов.

Creating a system of corporate partnership between technical universities and aerospace companies

Lyalikova D.A.

MAI, Moscow, Russia

During the fourth industrial revolution, technology is changing very quickly, so the central objective of a technical university is to prepare people who will feel confident in the new digital environment.

Students should have experience with research activities and solve specific problems. The university needs to create conditions under which high technologies will become available. Students must be associated with the industry throughout their studies, familiarize themselves with various industries and the real tasks of aerospace enterprises. This will allow young specialists to build their individual educational trajectories and shape their careers.

This concept can be implemented if create a system of corporate partnership between technical universities and aerospace enterprises, aimed at long-term cooperation. The main objective of the corporate partnership is to train specialists for aerospace enterprises by combining the intellectual, material, financial and corporate resources of the university and the enterprise.

A corporate partnership between a technical university and aerospace enterprises can be achieved by introducing certain elements into the education system:

- Training of aerospace specialists at the university, taking into account the enterprise development prospects.
- Implementation of a program of targeted education of students at the university at all levels of study.
- Formation of a system of individual support and mentoring on the part of enterprises, setting production tasks for students, monitoring the achievement of targets.
- Solving production problems, conducting student practices and research and development work at specialized enterprises.

- Involving enterprises in the development of new educational programs and standards in the training of aerospace specialists.
- Introduction of courses with the training system that will increase the level of soft skills among young specialists: learning a foreign language, working with specialized IT-products used in the aerospace industry, etc.

So, the formation of a system of corporate partnership of technical universities with enterprises of the aerospace industry will ensure professional and popular training of specialists, improving the quality of educational services at the university and increasing the competitiveness of graduates of technical universities.

Особенности системы мотивации персонала авиапредприятия

Ляпина С.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из ключевых факторов успеха современного промышленного авиапредприятия является высокий уровень производительности персонала, которая, в свою очередь, во многом определяется адекватной системой мотивации сотрудников. Мотивация как функция управления человеческими ресурсами направлена на повышение

заинтересованности работников предприятия в работе, она создает устойчивую форму поведения сотрудников предприятия, необходимую для осуществления высокого уровня его конкурентоспособности.

В современной профессиональной среде одна из основных компетенций руководства связана с умением правильно стимулировать персонал, чтобы желание заработать деньги дополнялось личным удовлетворением от производительного и качественного выполнения своих должностных обязанностей. Мотивация служит руководителем инструментом, позволяющим расставить приоритеты в реализации бизнес-процессов, заинтересовать и привлечь квалифицированных сотрудников для выполнения наиболее сложных и ответственных производственных задач, максимально исключить факторы увольнения ключевых и наиболее талантливых работников.

Нельзя не согласиться с утверждением ряда исследователей, что позитивные стимулы в мотивации оказываются более действенными: при их преобладании коллектив предприятия будет работать с самоотдачей, все работники – ответственно подходить к выполнению своих должностных обязанностей и демонстрировать высокий интерес к своей работе. Тогда как негативные стимулы гарантируют производительную и качественную работу при высоких издержках на контроль качества и мониторинг производительности персонала.

В современных условиях для любой компании очень важно разработать и использовать эффективную систему мотивации персонала, направлять каждого сотрудника качественно работать и увеличивать показатели производительности труда, при этом учитывая его интересы. Система мотивации является важнейшей частью кадровой политики предприятия.

Литература:

1. Тихонов А.И. Оценка конкурентноустойчивости предприятия авиационной промышленности // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2020. № 2. С. 118-124.
2. Просвирина Н.В. Особенности мотивации и стимулирования трудовой деятельности молодых сотрудников промышленного предприятия // Финансовая экономика. 2020. № 2. С. 183-187.

Features of the personnel motivation system of the airline

Lyapina S.Y.

MAI, Moscow, Russia

One of the key factors for the success of a modern industrial aviation enterprise is a high level of personnel productivity, which, in turn, is largely determined by an adequate system of employee motivation. Motivation as a function of human resource management is aimed at increasing

the interest of the employees of the enterprise in work, it creates a stable form of behavior of the employees of the enterprise, which is necessary for the implementation of a high level of its competitiveness.

In the modern professional environment, one of the main competencies of management is associated with the ability to properly stimulate personnel, so that the desire to earn money is complemented by personal satisfaction from the productive and high-quality performance of their duties. Motivation is a tool for leaders allowing to prioritize the implementation of business processes, motivate and attract qualified employees to perform the most difficult and responsible production tasks, maximum exclude the factors of dismissal of key and most talented workers.

One cannot but agree with the assertion of a number of researchers that positive incentives in motivations turn out to be more effective: with their predominance, the team the enterprise will work with dedication, all employees – responsibly approach the performance of their duties and demonstrate a high interest in their work. Whereas negative incentives guarantee productive and quality work at high the cost of quality control and monitoring staff performance.

In modern conditions, it is very important for any company to develop and use an effective staff motivation system, direct each employee to work efficiently and increase performance labor productivity, while taking into account his interests. System motivation is the most important part of the personnel policy of the enterprise.

References:

1. Tikhonov A.I. Assessment of the competitiveness of the aviation industry enterprise // RISK: Resources, Information, Procurement, Competition. 2020. No. 2. S. 118-124.

2. Prosvirina N.V. Features of motivation and stimulation of labor activity of young employees of an industrial enterprise // Financial Economics. 2020. No. 2. S. 183-187.

Особенности оперативного планирования опытного производства новых образцов авиационной техники

Майбородин А.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

Оперативное производственное планирование (ОПП) является важной составляющей организации производства и представляет собой наиболее детальный уровень планирования. Наиболее значимой задачей ОПП является обеспечение гармоничного и непрерывного производственного процесса. Специфика работ по производству новых образцов авиационной техники предполагает наличие ряда особенностей, которые необходимо учитывать при организации системы ОПП.

Производимая продукция выпускается в единичных количествах и включает широкий перечень составных частей.

Процесс производства отличается непрерывным совершенствованием технологической составляющей.

В зависимости от конкретики продукции могут применяться особые требования относительно процесса закупки товарно-материальных ценностей (ТМЦ). Это может негативно сказываться на оперативности процесса.

Производственные подразделения группируются по типам операций, что приводит к необходимости организации межцеховых взаимодействий.

Более крупные уровни планирования в проектах НИОКР обладают высокой динамикой. Состав последующих работ часто может определяться и изменяться в процессе выполнения предшествующих этапов.

Частая переналodka оборудования, которая требует синхронизации с вышеуказанными процессами.

Указанные особенности предъявляют дополнительные требования к системе ОПП, повышая вычислительную сложность задачи планирования, и определяют потребность в разработке специальных методов планирования, учитывающих эти особенности. При этом система ОПП должна учитывать доступность трудовых ресурсов, оборудования и ТМЦ.

технологическую последовательность выполнения работ и их трудоемкость, а также требования к квалификации исполнителей, определяемые спецификой работ.

В качестве возможного решения предлагается рассмотреть использование систем программных агентов, которые применяются для решения задачи поиска равновесия в динамических системах. Предлагаемое решение заключается в создании имитационной модели процесса планирования путем замещения реальных объектов, участвующих в планировании, программными агентами. При этом, для отдельных операций, например, для определения перечня и технологической последовательности выполнения работ, предполагается использование стандартных способов ввода на рабочих местах пользователей.

Таким образом, оперативный план производства будет являться результатом решения задачи поиска равновесия при непрерывно меняющихся условиях, что соответствует условиям и характеру задачи, описанным выше.

Specificity of operational planning in pilot production of new types of aircraft

Mayborodin A.B.

MAI, Moscow, Russia

Operational production planning (OPP) is an important component of organization of production and represents the most detailed level of planning. One of the most significant issues of OPP is to ensure a balanced and continuous production process. Specifics of pilot production of new types of aircraft implies a number of features that must be taken into account when organizing the OPP system.

1. Manufactured products are produced in single quantities and include a wide list of components.

2. There are continuous technology improvement in the production process.

3. Depending on the specifics of the product, special requirements may apply to the procurement process of inventory items. This may negatively affect the efficiency of the procurement process.

4. Production equipment are usually grouped by types of operations. This leads to the need to organize an interaction between the workshops.

5. Higher planning levels in research and development projects are very dynamic. The composition of following activities can often be determined and changed in the process of performing the previous stages.

6. Frequent readjustment of equipment, which requires synchronization with the above processes.

These distinctive specifics impose additional requirements on the OPP system, increasing the computational complexity of the planning issue, and determine the need to develop special planning methods that take these specifics into account. At the same time, the OPP system should take into account the availability of labor resources, equipment, inventory, and the technology sequence of activities and their labor intensity, as well as the requirements for performers qualification, determined by the specifics of the activities.

As one of the possible solutions, it is proposed to consider the use of software agent systems that are used to solve balance issues in dynamic systems. The proposed solution is to create the imitation model of the planning process by replacing real objects involved in planning with software agents. At the same time, for individual operations, for example, to determine the list and the technology sequence of activities, it is suggested to use standard input methods using the graphical user interface.

Thus, the operational production plan will be the result of solving the balance issue under continuously changing conditions, which corresponds to the problem described above.

Методика проектирования интеграции ERP и PDM систем для промышленных предприятий на базе модели нормативной производственно-технологической информации

Макаров Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Современные условия промышленного развития приводят к активному использованию на предприятиях разнообразных систем автоматизации процессов проектирования, планирования и управления производством. При этом остро стоит задача информационного обмена между указанными системами в рамках жизненного цикла изделия. Для крупных промышленных предприятий, к которым относятся и предприятия аэрокосмической отрасли, на данный момент сложилась ситуация использования на разных стадиях ЖЦ изделия автоматизированных систем разных производителей. Существующие сейчас решения в массе своей подходят к данной проблеме прямолинейно, без учета целей и особенностей ведения технологических данных в разных типах систем.

Для решения описанной проблемы был проведен анализ реальных задач интеграции систем проектирования и систем планирования и управления на предприятиях, относящихся к аэрокосмической промышленности, позволивший сформулировать основные характерные особенности подобной интеграции и предложить механизмы их учета в рамках проекта построения соответствующей интеграции систем. На основе данного анализа были сформированы предложения по организации взаимосвязи указанных систем в рамках практики пошагового внедрения и рационального подхода к управлению данными (sound data management), когда интеграционные потоки формируются исходя из потребностей существующих или проектируемых бизнес-процессов, а не из возможностей соответствующих систем или платформ.

В результате предложена методика построения интерфейса между системами проектирования и системами планирования и управления производством, включающая этапы организации начальной схемы интеграции и этапы её последующего итерационного развития. Использование данной методики позволяет сформировать полноценное проектное решение на внедрение и дальнейшее развитие интерфейса между системами PDM и ERP, совместная работа которых необходима для полноценной реализацию в рамках предприятия концепции PLM.

Литература:

1. Падалко С.Н. Рекомендации для консалтинга в области информатизации организаций // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 12. С. 267-270.

Design methodology for the integration of ERP and PDM systems for industrial enterprises based on the model of regulatory production and process data

Makarov D.A.

MAI, Moscow, Russia

Modern conditions of industrialization lead to the active use at enterprises a variety of automation systems for design, planning and production management. At the same time, there is an acute problem of information exchange between these systems at different stages of the product life cycle. For large industrial enterprises, which include enterprises of the aerospace industry, at the moment there is a situation of using automated systems from different manufacturers at different stages of the product life cycle. The currently existing solutions mainly approach this problem straightforwardly, without considering the goals and features of maintaining technological data in different types of systems.

To solve the described problem, an analysis of the real problems of integrating design systems and planning and management systems at enterprises related to the aerospace industry was carried out, which made it possible to formulate the main characteristic features of such integration and propose mechanisms for their consideration within the framework of the project for constructing the appropriate integration of systems. Based on this analysis, proposals were formed for organizing the relationship of these systems within the framework of the practice of step-by-step

implementation and a rational approach to data management (sound data management), when integration flows are formed based on the needs of existing or projected business processes, and not from the capabilities of the corresponding systems or platforms.

As a result, a methodology for constructing an interface between design systems and systems of planning and production management was proposed, including the stages of organizing the initial integration scheme and the stages of its subsequent iterative development. The use of this technique allows to form a full-fledged design solution for the implementation and further development of the interface between PDM and ERP systems, which is necessary for the full implementation of the PLM concept within the enterprise.

References:

1. Padalko S.N. Recommendations for consulting in the field of informatization of organizations // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2018. № 12. P. 267-270.

Обоснование показателя эффективности при проектировании радиосистем передачи информации на этапе научно-исследовательской работы

Малютина О.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Обязательным пунктом стандартного технического задания на выполнение научно-исследовательской работы (НИР) является пункт “Технико-экономические требования”, устанавливающие, в частности, предельное значение стоимости выполнения НИР; определяющие этап, на котором проводится технико-экономическое обоснование целесообразности продолжения исследований; устанавливающие необходимость определения предполагаемых затрат на реализацию результатов НИР.

Каждый из указанных в требованиях пунктов связан с оценкой технической сложности и эффективности проектируемых радиосистем передачи информации (РСПИ). В настоящее время наиболее распространенным в промышленности показателем эффективности НИР является обобщенный показатель эффект/стоимость. Обоснование эффективности НИР тем более необходимо на этапе определения заказчиком исполнителя НИР.

При оценке технического эффекта, как правило, используется метод сравнения некоторых наиболее важных с точки зрения исполнителя характеристик проектируемой РСПИ с аналогичными характеристиками некоего прототипа. С учетом динамики сравниваемых характеристик делается вывод, что выполнение НИР приведет к положительному эффекту и при реализации результатов в опытно-конструкторской работе (ОКР) будет разработана новая, более эффективная РСПИ. Помимо определенного волонтаризма при выборе прототипа и набора сравниваемых характеристик недостатком данного метода является сложность оценки технической эффективности, объясняемая необходимостью использования векторного показателя, учитывающего значения отдельных характеристик.

Целью данной статьи является разработка методики расчета показателя эффект/стоимость, в основе которой лежит анализ относительных значений основных технических характеристик РСПИ, формируемых на основе сравнения значений этих характеристик с предельными потенциальными значениями показателей эталонной РСПИ.

Для оценки показателя эффект/стоимость, широко применяемого для оценки эффективности выполнения НИР предложен относительный показатель технической эффективности НИР, характеризующий эффект разрабатываемой в НИР научно-технической продукции и относительный показатель экономической эффективности, характеризующий увеличение технической эффективности на единицу вложен в разработку НИР.

К существенным достоинствам предлагаемого показателя следует отнести отказ от субъективных показателей, предшествующих образцов реальных РСПИ, выбираемых в настоящее время в качестве прототипов.

Substantiation of the efficiency index in the design of radio information transmission systems at the stage of research

Malyutina O.A.

MAI, Moscow, Russia

Each of the items specified in the requirements is associated with the evaluation of the technical complexity and efficiency of the designed radio information transmission systems (RITS). Currently, the most common industry performance indicator of RW is a generalized indicator of the effect/cost. Justification of the effectiveness of research is especially necessary at the stage of determining the customer contractor research. When assessing the technical effect, as a rule, the method of comparing some of the most important from the point of view of the performer characteristics of the designed RITS with similar characteristics of a prototype is used.

Taking into account the dynamics of the compared characteristics, it is concluded that RW will lead to a positive effect and a new, more effective RITS will be developed when implementing the results in experimental design work (EDW). In addition to a certain voluntarism when choosing a prototype and a set of compared characteristics, the disadvantage of this method is the complexity of assessing technical efficiency, explained by the need to use a vector indicator that takes into account the values of individual characteristics.

The purpose of this article is to develop a methodology for calculating the effect/cost, which is based on the analysis of the relative values of the main technical characteristics of the RITS, formed by comparing the values of these characteristics with the maximum potential values of the reference RITS.

For estimating the effect/cost, is widely used to assess the effectiveness of the research proposed relative measure of the technical efficiency of research characterizing the effect developed in the research of scientific and technical production and a relative measure of economic efficiency, which characterizes the increase of technical effectiveness per unit of investment in development research.

The essential advantages of the proposed indicator include the rejection of subjective indicators preceding samples of real RITS, currently selected as prototypes.

Особенности взаимодействия с органами государственной власти в авиационной отрасли

Маркина А.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

В классическом понимании взаимодействие коммерческих структур с органами государственной власти на любом уровне осуществляется за счет ряда специфических взаимодействий отдельных лиц или целых подразделений организаций. Такого рода сопровождение деятельности организации в политической среде принято называть Government Relations (GR).

Объектами GR являются исполнительная и законодательная ветви власти, тогда как в рассматриваемом вопросе авиационной отрасли субъектами взаимодействия становятся организации авиационной промышленности от производителей до авиаэксплуатантов.

Авиационная сфера в целом как отрасль считается одной из наиболее ресурсоемких, поэтому она не является исключением с точки зрения необходимости участия государства в ее развитии. Несмотря на ряд приватизационных процедур, проведенных в середине 1990х годов, роль государства в авиационной отрасли является ключевой. Такое положение дел дает особую специфику взаимодействия организаций авиационной отрасли с органами государственной власти.

Возвращаясь к базовым понятиям и инструментам взаимодействия с органами государственной власти стоит инструменты, которые используются организациями для налаживания контакта в политическом аспекте. Однако для авиационной промышленности они имеют свою специфику.

1. Оказание влияния на решения органов власти. Данное направление реализуется предприятиями авиационной отрасли за счет государственных структур исполнительной

власти, которыми они контролируются. Авиационная коллегия при Правительстве РФ является такого рода организацией, которая и решает вопросы координации взаимодействия федеральных властей, авиационных предприятий, эксплуатантов и прочих участников отрасли.

2. Получение публицити за счет контактов с органами власти. В случае с авиационной отраслью можно сказать, что деятельность ключевых фигур организации авиационной промышленности так или иначе связана с исполнительными органами, регламентирующие деятельность отрасли в целом (Минтранс, Минпромторг).

3. Получение госзаказов, сопровождение участия компании в тендерах, проводимых органами власти. Этот аспект инициируется непосредственно государством в рамках разработки и реализации федеральных программ и законодательства в области авиастроения, формирующие целостный комплекс программных мероприятий по поддержке перспективных направлений отрасли.

Government Relations Features in Aviation Industry

Markina A.D.

MAI, Moscow, Russia

In the classic sense, any interactions of commercial structures with public authorities at any level is carried out through a number of specific cooperation between individuals or special divisions in organization. Activities' maintenance of an organization in the political environment is commonly called Government Relations (GR).

The objects of GR are the executive and legislative branches of government, while in the considered issue of the aviation industry, the subjects of interaction are organizations of the aviation industry, including manufacturers, aircraft operators.

The aviation sector as an industry is considered one of the most resource-intensive, therefore it is no exception in terms of the need for government participation in its development. Despite a number of privatization procedures carried out in the mid-1990s, the role of the state in aircraft construction is key. This state of affairs gives a special specificity to the interaction of organizations of the aviation industry with government authorities.

Returning to the basic concepts and tools of interaction with public authorities, there are tools that are used by organizations to establish contacts in the political aspect. However, they have their own specifics for the aviation industry.

1. Influencing the decisions of the authorities. This direction is implemented by enterprises of the aviation industry at the expense of state executive structures, which control them. The Aviation Collegium under the Government of the Russian Federation is such an organization that solves the issues of coordination of interaction between federal authorities, aviation enterprises, operators and other industry participants.

2. Getting publicity through contacts with authorities. In the case of the aviation industry, it can be said that the activities of the key figures in the organization of the aviation industry are in one way or another connected with the executive bodies that regulate the activities of the industry as a whole (Ministry of Transport, Ministry of Industry and Trade).

3. Obtaining government orders, accompanying the company's participation in tenders held by government authorities. This aspect is initiated directly by the state as part of the development and implementation of federal programs and legislation in the field of aircraft construction, which form an integral set of program activities to support promising areas of the industry.

Особенности формирования имиджа российских авиационных компаний

Маурина Т.С., Воронцова Е.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Имидж играет важнейшую роль в жизни компании. Зачастую от того, какой сложился образ у окружающих о компании, зависит ее прибыль и дальнейшее процветание. Необходимо создать положительное мнение о компании у каждого, даже если кто-то не пользуется услугами данной организации, но услышав о ней, посоветовать другим. Такое сарафанное радио, в зависимости от того, какой образ сложится у людей, способно как

обогатить компанию, так и разрушить ее. Имидж помогает занять и сохранять устойчивую позицию на рынке, а также дает преимущество над конкурентами. Благодаря положительному имиджу компании способны быстро привлекать внимание целевых аудиторий и побуждать их к активным действиям. Важными целями также выступают стимулирование продаж и повышение лояльности клиентов.

Авиация – это та отрасль, где нельзя допускать ни единой ошибки не только при непосредственном функционировании компании, но и во внешнем ее представлении. Для авиакомпаний жизненно необходимым условием существования и процветания является постоянное формирование и направление правильной информации целевым аудиториям. Роль PR-отдела и связей с общественностью является в этой сфере неотъемлемой частью большой системы. Благодаря грамотной работе PR-специалистов формируется образ авиакомпании, в виду которого люди принимают решение приобретать им билет или же нет. Имидж должен быть устойчивым, таким, чтобы клиенты не просто выбирали авиакомпанию, но и оставались ей привержены. Поддержание имиджа не является простым изучением конкурентов: не стоит пытаться «выиграть гонку», намного важнее найти и удержать потребителя, стать для него другом. Потребитель остается быть преданным компании до тех пор, пока он чувствует связь с ней.

Формирование любого имиджа – это огромная работа PR-специалистов, постоянный мониторинг ситуации на рынке, изучение конкурентов, разработка уникальных предложений, грамотная работа над политикой внутри компании, поддержка клиентов. Хорошая и постоянная работа PR-отдела в деятельности авиакомпании – это ключевой момент ее успеха.

Features of building the image of Russian airlines

Maurina T.S., Vorontsova E.D.

MAI, Moscow, Russia

Image has an important role in company's life. Sometimes, a company's profit and its further prosperity depends on the impression of company. It is necessary to create a positive opinion about the company for everyone, even if someone does not use its services, he can advise it to the others. Such word of mouth, depending on what image people have, can both enrich the company and destroy it. The image helps to take and maintain a stable position in the market, as well as gives an advantage over competitors. Thanks to a positive image, companies are able to quickly attract the attention of target audiences and encourage them to take action towards its services. Sales promotion and increasing customer loyalty are also an important goals in positive image building.

Aviation is an industry where it is prohibited to make a mistake not only in the direct functioning of the company, but also in its external representation. For airlines, a vital condition for existence and prosperity is the constant formation and sending of correct information to target audiences. The role of the PR Department and public relations is an essential part of a large system. Due to the competent work of PR specialists, an image of the airline is formed. And this is the key element in case of which people make a decision to buy a ticket for them or not. The image must be stable, so that customers do not just choose the airline, but also remain committed to it. Maintaining an image is not a simple study of competitors: you should not try to "win the race", it is much more important to find and retain the consumer, to become a friend for him. The consumer remains loyal to the company as long as they feel connected to it.

The formation of any image is a huge work of PR specialists, constant monitoring of the market situation, studying competitors, developing unique offers, competent work on policy within the company, and customer support. Good and constant work of the PR Department in the airline's activities is a key moment of its success.

ЛИН-технологии в реализации концепции «Университет 4.0» для предприятий высокотехнологичных отраслей

Мезина Н.А., Еропкин А.М., Зубеева Е.В., Алексеева Е.П.
МАИ, г. Москва, Россия

«Лин-технологии» все активнее входят в нашу жизнь. В России, термин «лин», часто переводят как «бережливое производство». Но это не совсем точно, так как концепция ЛИН, давно уже вышла за рамки производства и успешно применяется во многих отраслях – в связи, в медицине, в банковской сфере. Не может оставаться в стороне и образование – область, самой своей природой призванная быть впереди. Это особо актуально при подготовке специалистов для отраслей, стоящих на острие научно-технического прогресса, таких как авиационная и ракетно-космическая. Рассматривая образование в широком аспекте, будет точнее использовать термин «бережливое мышление», основными инструментами которого являются: вытягивающее производство, принцип «точно в срок» и сокращение потерь.

Любой человек, обладает бесценным ресурсом – временем. Студент, приходя в вуз, должен иметь возможность, как в любой экономической системе, преобразовав его, с минимальными затратами (а в терминах ЛИН – потерями), получить максимальный результат. Потерями в данном случае являются дисциплины, которые не добавляют ценности выпускнику.

Главной ценностью, с которой выпускник выходит на рынок труда, является модель его компетенции – набор знаний, умений и навыков, которые необходимы для научных организаций, разрабатывающих и серийных предприятий. Однако, иметь только компетенции, сегодня, мало. Выпускник должен обладать потенциалом, позволяющим ему развиваться и участвовать в создании новой техники, свободно осваивать передовые технологии, современные системы организации производства и труда. Должны быть соблюдены такие принципы «Бережливого мышления», как «выталкивание» – выпускник должен готовиться, под заказчика, и «точно вовремя»- выпускник должен появиться на предприятии именно тогда, когда оно испытывает в нем потребность. Это означает, что университет, работающий в интересах наукоемких и высокотехнологичных отраслей, должен не просто работать на опережение, а быть «тонко» настроен на потребности промышленности, что полностью отвечает современной концепции «Университет 4.0», как института общества, реализующего функцию поставщика знаний о будущем и призванного стать лидером развития высокотехнологичных отраслей, через эффективное проявление функции капитализации собственных знаний и способного решать проблемы-вызовы современной промышленности. Только при такой системе работы вуз будет максимально эффективен и привлекателен как для студентов, так и для работодателей.

LEAN technology in the implementation of the "University 4.0" concept for high-tech enterprises

Mezina N.A., Eropekin A.M., Zubeeva E.V., Alekseeva E.P.
MAI, Moscow, Russia

"LEAN-technology" are increasingly entering our lives. In Russia, the term LEAN is often translated as "LEAN-manufacturing". But this is not entirely accurate, since the concept of LEAN has already gone beyond production and is successfully applied in many industries – in communications, medicine, and banking. Education cannot be left out as an area that should always be ahead. This is especially important for training specialists for industries that are leading in scientific and technological progress, such as aviation and space. When considering education, it is more accurate to use the term "LEAN thinking", the main tools of which are: pulling production, the principle of "just in time" and reducing losses.

Any person has a valuable resource – time. A student coming to a University should be able, as in any economic system, to transform it, with minimal costs (and in terms of LEAN – losses), to get the maximum result. The losses in this case are disciplines that do not add value to the graduate.

The main value with which a graduate enters the labor market is the model of its competence – a set of knowledge, skills and abilities that are necessary for scientific organizations, developing and serial enterprises. However, it is not enough to have only competencies today. The graduate must have the potential to develop and participate in the creation of new equipment, master advanced technologies, modern systems of production and labor organization.

Such principles of "LEAN thinking" as "pushing out" – the graduate must prepare for the customer, and "just in time" – the graduate must appear at the enterprise exactly when it feels the need for it, must be observed.

This means that a University that works in the interests of high-tech industries must work ahead of the curve and be "finely tuned" to the needs of industry. This fully corresponds to the modern concept of "University 4.0" as the institution that implements the function of the provider's knowledge of the future and designed to become the leader in the development of high-tech industries, through the effective manifestation of functions of the capitalization of own knowledge and is able to solve the problems-challenges of modern industry. Only with this system of work will the University be effective and attractive for both students and employers.

Особенности конкурентоспособности предприятия

Мелик-Асланова Н.О., Танская Д.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Конкуренция заставляет товаропроизводителей внедрять инновационные процессы и технологии для снижения себестоимости продукции. В целом такой подход имеет тенденцию улучшать качество продукта, привлекать новых покупателей и увеличивать собственную прибыль.

Анализ определений конкурентоспособности компании позволяет выявить основное различие между ними, которое заключается в глубине проникновения в суть этой категории.

Конкурентоспособность предприятия:

1. экономически и финансово определяется на основе конкурентоспособности его продукции;
2. рассматривается как система (перечень) показателей эффективности деятельности предприятия;
3. аналогична конкурентному преимуществу перед другими участниками рынка;
4. интерпретируется как собственность объекта управления (или субъекта рыночных отношений);
5. определяется как способность конкурировать и функционировать на рынке;
6. это способность к адаптации и гибкости для выживания в динамичной конкурентной среде.

Приведенный выше анализ определений термина «конкурентоспособность предприятия» позволяет выделить ряд важных особенностей:

- Конкурентоспособность – динамическое явление.
- Конкурентоспособность предприятия напрямую зависит от стадии жизненного цикла предприятия.
- Конкурентоспособность как экономическая категория имеет релятивистский характер, поскольку она существует в сравнении.
- Конкурентоспособность имеет значение только в случае существующей компании с определенной долей рынка.
- Несмотря на зависимость от многих факторов, конкурентоспособность предприятия приобретает индивидуальный характер.
- Проблема конкурентоспособности возникает в случае нестационарного недефицитного рынка, который далек от равновесия.

Итак, конкурентоспособность предприятия – это совокупная характеристика ценностей, компетенций и конкурентных преимуществ.

Литература:

1. Матвеева Т. В. Повышение конкурентоспособности промышленных предприятий на основе развития инновационной деятельности: учеб. пособие/Т. В. Матвеева, В. В. Криворогов, Н. В. Машкова, П. П. Корсунов. — Екатеринбург: Изд во Урал. ун та, 2018. — 152 с.

2. Управление конкурентоспособностью организаций и территорий/Г. Д. Антонов, О. П. Иванова, В. М. Тумин. М.: ИНФРА-М, 2019. - 347 с.

3. Управление конкурентоспособностью/В. А. Быков, Е. И. Комаров. М.: РИОР: ИНФРА-М, 2018. - 242 с.

Features of the company's competitiveness

Melik-Aslanova N.O., Tanskaya D.V.

MAI, Moscow, Russia

Competition forces producers to introduce innovative processes and technologies to reduce the cost of production. In General, this approach tends to improve the quality of the product, attract new customers, and increase your own profit.

An analysis of the definitions of a company's competitiveness reveals the main difference between them, which is the depth of penetration into the essence of this category.

Enterprise competitiveness:

1. economically and financially determined based on the competitiveness of its products;
2. it is considered as a system (list) of performance indicators of the enterprise;
3. similar to the competitive advantage over other market participants;
4. interpreted as the property of the management object (or the subject of market relations);
5. defined as the ability to compete and function in the market;
6. it is the ability to adapt and be flexible to survive in a dynamic competitive environment.

The above analysis of definitions of the term "enterprise competitiveness" allows us to highlight a number of important features:

- Competitiveness is a dynamic phenomenon.
- The competitiveness of an enterprise directly depends on the stage of the enterprise's life cycle.
- Competitiveness as an economic category has a relativistic character, since it exists in comparison.
- Competitiveness is only relevant in the case of an existing company with a certain market share.
- Despite the dependence on many factors, the competitiveness of the enterprise takes on an individual character.
- The problem of competitiveness arises in the case of a non-stationary non-deficit market that is far from equilibrium.

So, the competitiveness of an enterprise is a combined characteristic of values, competencies, and competitive advantages.

References:

1. Matveeva T. V. Improving the competitiveness of industrial enterprises based on the development of innovative activities: textbook. manual/T. V. Matveeva, V. V. Krivorotov, N. V. Mashkova, P. P. Korsunov. — Yekaterinburg: Ural publishing house. UN TA, 2018. — 152 p.

2. Managing the competitiveness of organizations and territories/G. D. Antonov, O. P. Ivanova, V. M. Tumin. M.: INFRA-M, 2019. - 347 p.

3. Management of competitiveness/V. A. Bykov, E. I. Komarov. M.: RIOR: INFRA-M, 2018. - 242 p.

Лингвистические особенности английских экономических текстов авиационной направленности

Мельдианова А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Объектом исследования данной статьи являются англоязычные научные тексты экономического направления, связанные с авиационной отраслью.

Данные тексты относятся к научному стилю английского языка, как работы, написанные строгим научным языком в исследовательских или непосредственно экономических целях.

Актуальность исследования обусловлена расширением международного сотрудничества между компаниями и государствами, в связи с чем возрастает значение как самих работ экономического направления, так и правильности их написания. Подробный анализ лексики и грамматики изучаемых текстов может быть применен при написании и переводе работ в рамках научного стиля.

Материалом исследования послужили работы экономического характера с веб-сайта Международной ассоциации воздушного транспорта (The International Air Transport Association – IATA) и веб-сайта Международной организации гражданской авиации (International Civil Aviation Organization – ICAO).

Среди особенностей, присущих экономическим текстам авиационной направленности, можно отметить сжатую и четкую структуру предложений за счёт применения синтаксических конструкций с вводными словами и словосочетаниями, а также атрибутивных сочетаний и фраз с предлогом *of*; конструкций с неличными формами глагола. Акцент в предложении в изучаемых текстах делается на детали, представляющие важность для исследования, что достигается посредством использования определенного набора временных форм, в частности форм простого и продолженного времени, условных конструкций, пассивного залога, наречий определенной семантики. Данные формы придают тексту стилистическую нейтральность и лишают его излишней эмоциональной окрашенности. Стилистическая нейтральность достигается также путем употребления абстрактной лексики, отказу от личных местоимений 1-го и 2-го лица единственного числа; с помощью наличия в тексте незначительного количества модальных глаголов. Использование оценочной лексики и модально окрашенных слов в рассматриваемых текстах экономической тематики характерно только для скрытого выражения отношения исследователя к содержанию излагаемого материала, в основном для передачи неуверенности автора по отношению к рассматриваемым фактам.

В целом, необходимо отметить, что компактность и нейтральная стилистическая окраска научного текста, в частности экономического текста авиационной направленности, не приводят к снижению его информационной насыщенности и позволяют с удобством воспринимать материал читателями.

Linguistic features of English Economic texts on Aviation

Meldianova A.V.

MAI, Moscow, Russia

The subject of the current article are English scientific texts, connected with aviation. These texts refer to the scientific style of the English language as being research works written by a strict language characteristic of a scientific prose and devoted mainly to economic issues. The topical character of this research work is conditioned by the increase in international cooperation between companies and states, that leads to the increase in the role of works on economics and the importance of their correctness from the point of view of linguistic peculiarities. The detailed analysis of grammatical and lexical aspects of the studied texts may be applicable during the process of writing and translating different materials of scientific nature.

The analysis in the article is made on the basis of texts of economic character taken from the website of the International Air Transport – IATA and the website of the International Civil Aviation Organization – ICAO.

Among peculiarities inherent to these texts we can name concise and accurate structure of sentences made possible by using mainly syntactic constructions with introductory words and sentences; attributive phrases and “of-phrases”, as well as the constructions with verbal non-finite forms. The stress in the sentence is made on the details that are important for the research, that is achieved by the application of a certain number of tenses, mainly Simple and Continuous, conditional structures, passive structures, adverbs of certain semantics. These forms attach some stylistic neutrality to the economic aviation texts and devoid them of excessive emotionality. Stylistic neutral character is also achieved by the presence of abstract vocabulary, refusal from the first and second-person singular pronouns, by the insignificant number of modal verbs. The use of

evaluative and modally-coloured words is typical only for expressing implied attitude of the author to the content and what concerns predominantly the studied texts, to render uncertainty towards the considered facts.

To sum up, it should be mentioned however, that the precise and compressed character of economic texts on aviation, their emotional and expressive neutrality do not decrease their informative value and make the texts easy and simple to perceive for readers.

Кадровое обеспечение аэропортов в условиях чрезвычайных и нештатных ситуаций

Мешанков Д.В., Тихонов А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Аэропорт – это комплекс сооружений, включающий в себя аэродром, аэровокзал, сооружения, предназначенный для приема и отправки воздушных судов, обслуживания воздушных перевозок и имеющий для этих целей необходимое оборудование. Современные аэропорты представляют собой сложные организационно-технические системы сооружений различного назначения и технических средств, необходимых для их организованной и безопасной работы. В эпоху всеобщей глобализации и появления новейших технологий, стремительно возрастает роль аэропортов для связанности обширных территорий по всему миру, комфортной перевозки пассажиров и товаров на максимальные расстояния в минимальные сроки. По данным Международной ассоциации воздушного транспорта, пассажиропоток ежегодно увеличивается более чем на 5%. Чтобы удерживать авиакомпании, аэропортам необходимо постоянно уменьшать финансовые затраты, одновременно увеличивая пропускной способности и усиливая безопасность пассажиров и сохранность грузов. Аэропорты XXI века динамично развиваются, для того чтобы улучшить свою важную роль в более обширной экосистеме сообществ, которые они обслуживают.

Каждая из этих областей существенно влияет на получение пассажирами позитивного потребительского опыта, но важнейшей составляющей, без сомнения, является кадровый состав. Именно персонал, высокопрофессиональный, специально обученный, прошедший многочисленные специализированные тестирования и проверки, может выполнить стратегические задачи развития авиационных перевозок, с учетом всех возможных сложностей и ограничений. Несмотря на значительное уменьшение общего количества аэропортов в нашей стране (с 1450 в 1991 г. до 241 в 2019 г.), увеличивается число крупных международных аэроузлов (с 19 в 1991 г. до 78 в 2019 г.). Общее количество работников всех российских аэропортов превышает 100 тыс. чел, что, примерно в три раза больше, чем ежедневный пассажиропоток. Крупнейший по площади и объему пассажиропотока московский аэропорт Шереметьево в своих четырех терминалах может обслуживать ежегодно более 35 млн. чел. К сожалению, всемирная пандемия Covid-19 резко изменила все планы авиаперевозчиков, заморозив большинство авиаперевозок. Весьма велика роль государственной поддержки, которая помогает сохранить существующую национальную транспортную систему. Особое внимание в условиях нештатных и чрезвычайных ситуаций уделяется службам управления персоналом, которые должны своими активными и умелыми действиями сохранить работоспособность сложившихся коллективов.

Airport staffing in emergency and non-standard situations

Meshankov D.V., Tikhonov A.I.

MAI, Moscow, Russia

An airport is a complex of structures that includes an airfield, an air terminal, facilities intended for receiving and dispatching aircraft, servicing air traffic and having the necessary equipment for these purposes. Modern airports are complex organizational and technical systems of structures for various purposes and technical means necessary for their organized and safe operation. In the era of globalization and the emergence of the latest technologies, the role of airports is rapidly increasing for the connectivity of vast territories around the world, for the comfortable transportation of passengers and goods over maximum distances in the shortest possible time. According to the International Air Transport Association, passenger traffic is increasing by more than 5% annually. To retain airlines, airports need to continually reduce financial costs while increasing capacity and

enhancing passenger safety and cargo security. 21st century airports are dynamically evolving to improve their important role in the broader ecosystem of the communities they serve.

Each of these areas has a significant impact on the positive customer experience for passengers, but the most important component, without a doubt, is the staffing. It is the highly professional, specially trained personnel who have passed numerous specialized tests and checks that can fulfill the strategic tasks of the development of air transportation, taking into account all possible difficulties and constraints. Despite a significant decrease in the total number of airports in our country (from 1450 in 1991 to 241 in 2019), the number of large international air hubs is increasing (from 19 in 1991 to 78 in 2019). The total number of employees at all Russian airports exceeds 100 thousand people, which is approximately three times more than the daily passenger traffic. The largest in terms of area and volume of passenger traffic, Moscow Sheremetyevo Airport in its four terminals can serve more than 35 million people annually. Unfortunately, the worldwide Covid-19 pandemic has dramatically changed all air carriers' plans, freezing most air travel. The role of state support is very important, which helps to preserve the existing national transport system. Special attention in the conditions of emergency and emergency situations is paid to the personnel management services, which must, by their active and skillful actions, preserve the working capacity of the established teams.

Повышение роли HR-деятельности в условиях пандемии COVID-19

Михайлов А.А., Кузьминский А.Е., Смирнова Т.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Пандемия коронавируса стала серьезным вызовом мирового масштаба и привела к существенной коррекции функционирования национальных экономик. Причем, динамика изменений имеет преимущественно негативный характер, поскольку ограничительные меры временно остановили поступательное развитие целых отраслей производства и сферы услуг.

Выход из кризисной ситуации страны невозможен без эффективного управления ее основными ресурсами – трудовыми. Качественная сторона трудовых ресурсов определяется их состоянием здоровья, уровнем профессиональной подготовки, набором личностных качеств и т.д. [1]. В этой связи существенно повышается значимость HR-деятельности.

Следует отметить, что функции управления персоналом достаточно разнообразны и их выбор и реализация зависят от ряда факторов, в частности: сфера деятельности организации и ее стратегические цели и задачи; наличие необходимых ресурсов; кадровая политика организации и т.д. Однако, в условиях пандемии достаточно явно доминирует ряд направлений, являющийся либо общим для всех отраслей экономики, либо специфичным, свойственным одной или нескольким отраслям. К общим направлениям можно отнести: сохранение здоровья сотрудников, налаживание эффективных коммуникаций и контроля в новых условиях, автоматизация HR-процессов, оптимизация расходов на персонал. К специфичным направлениям можно отнести – развитие персонала. Проблема развития персонала в условиях пандемии актуальна для высокотехнологических отраслей промышленности, в частности – аэрокосмической, где особенно остро ощущается необходимость в систематическом наращивании интеллектуального капитала.

Литература:

Тихонов А.И., Воронцова Ю.В., Михайлов А.А., Федотова М.А. Экономика труда на предприятиях авиационной и ракетно-космической промышленности: учебное пособие. – Ставрополь: Логос, 2019. – 135 с.

Increasing of the role of HR activities in the context of the COVID-19 pandemic

Mikhaylov A.A., Kuzminsky A.E., Smirnova T.S.

MAI, Moscow, Russia

The coronavirus pandemic has become a serious global challenge and has led to a significant correction in the functioning of national economies. Moreover, the dynamics of changes is predominantly negative, since restrictive measures temporarily halted the progressive development of entire industries and services.

A way out of the country's crisis situation is impossible without effective management of its main resources – labor. The qualitative aspect of labor resources is determined by their state of health, the level of professional training, a set of personal qualities, etc. [1]. In this regard, the importance of HR activities is significantly increasing.

It should be noted that the functions of personnel management are quite diverse and their choice and implementation depend on a number of factors, in particular: the scope of the organization and its strategic goals and objectives; availability of necessary resources; personnel policy of the organization, etc. However, in a pandemic, a number of areas dominate quite clearly, which are either common to all sectors of the economy, or specific, characteristic of one or several sectors. The general directions include: maintaining the health of employees, establishing effective communications and control in the new environment, automating HR processes, optimizing personnel costs.

Specific areas include personnel development. The problem of personnel development in a pandemic is relevant for high-tech industries, in particular - aerospace, where the need for a systematic increase in intellectual capital is especially acute.

References:

Tikhonov A.I., Vorontsova Yu.V., Mikhaylov A.A., Fedotova M.A. Labor economics at the enterprises of the aviation and aerospace industries: textbook. - Stavropol: Logos, 2019. - 135 p.

Применение компетентного подхода при реализации индивидуальных образовательных траекторий студентов

Монахова В.П., Одицова Е.И., Кириллова А.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Современные подходы к формированию образовательных программ основаны на принципах компетентного подхода, блочной структуры ООП, увеличения вариативной части блоков дисциплин и практик. Такие изменения способствуют увеличению свобод ВУЗов при разработке ООП и большей концентрации на удовлетворении интересов рынка труда.

Переход к действующему поколению образовательных стандартов, сопряженных по трудовым функциям с профессиональными стандартами позволяет еще больше сблизить образование с работодателями.

Кроме того, реализация компетентного подхода при получении высшего образования предполагает предоставление студентам академических свобод и позволяет строить индивидуальные образовательные траектории, по выбранному образовательному пути.

В настоящий момент программа построения индивидуальных образовательных траекторий в МАИ активно апробируется для студентов-целевиков АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», обучающихся по направлениям подготовки 24.03.05 «Двигатели летательных аппаратов» (уровень образования – бакалавриат) и 24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов» (уровень образования – магистратура), и по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (уровень образования – специалитет). У студентов есть возможность выбирать дополнительные курсы дисциплин на английском и русском языках; проходить обучение по основному учебному плану на английском языке по части дисциплин; проходить обучение по международному академическому обмену и в Школе управления МАИ; раскрывать научный потенциал с преподавателями-наставниками и проходить стажировки на ведущих предприятиях АО «ОДК»; участвовать в хакатонах и летней школе, начиная с первого курса.

Компетентный подход обеспечил возможности студентам выстраивать их индивидуальные образовательные траектории, реализация которых проходит в интересах будущих специалистов и формирует механизм эффективного взаимодействия между ВУЗом и будущим работодателем.

Application of a competent approach in the implementation of individual educational trajectories of students

Monakhova V.P., Odintsova E.I., Kirillova A.M.
MAI, Moscow, Russia

Modern approaches to the formation of educational programs are based on the principles of the competence approach, the block structure of the BEP, and the increase in the variable part of the blocks of disciplines and practices. Such changes contribute to increasing the freedom of Universities in the development of BEP and a greater focus on meeting the interests of the labor market.

The transition to the current generation of educational standards that are associated with professional standards in terms of labor functions makes it possible to bring education even closer to employers.

In addition, the implementation of a competence-based approach to higher education involves providing students with academic freedoms and allows them to build individual educational trajectories along the chosen educational path.

At the moment, the program for building individual educational trajectories at MAI is being actively tested for target students of UEC who are studying in the areas of training 24.03.05 "aircraft engines" (bachelor's degree) and 24.04.05 "aircraft Engines" (master's degree), and in the specialty 24.05.02 "design of aircraft and rocket engines" (specialist level). Students have the opportunity to choose additional courses in english and russian; to study in the main curriculum in english in part of the disciplines; to study in international academic exchange and at the MAI school of management; to discover scientific potential with teachers and mentors and take internships at leading enterprises of UEC; to participate in hackathons and summer school, starting from the first year.

The competence approach has enabled students to build their individual educational paths, the implementation of which is in the interests of future specialists and forms a mechanism for effective interaction between the University and the future employer.

Организация заданий к лекционному курсу по лингвистическим дисциплинам на платформе Microsoft Teams для студентов технических специальностей в МАИ: система, методические приемы, результаты

Муравьева Н.В., Сорокин А.Е.
МАИ, г. Москва, Россия

Онлайн-обучение студентов в Московском авиационном институте уже не первый год активно проводится на площадке LMS МАИ (learning management system — «система управления обучением»). Важным и перспективным дополнением этой системы в МАИ в последнее время становится платформа Microsoft Teams (MT), дающая возможности, с одной стороны, создавать ресурсы для онлайн-занятий, а, с другой стороны, расширять коммуникативные навыки работы в информационной среде и у студентов, и у преподавателей.

Однако любая форма дистанционного обучения, несмотря на наличие подробных инструкций, вызывает различные организационные/ технологические, методические и даже психологические проблемы, особенно в ситуациях преподавания лингвистических дисциплин. Этот факт объясняется тем, что инструкции создаются IT-специалистами, которые не готовы при разработке подобных текстов занять позицию пользователя (хотя это обычно декларируется).

Опираясь на собственный опыт удачных и неудачных действий, мы, по сути, разработали пошаговую «инструкцию» для организации заданий по курсу «Русский язык и культура речи» на платформе Microsoft Teams. При этом мы, во-первых, стремились описать те «мелкие» детали, которые для специалиста кажутся очевидными и в силу этого ненужными в пользовательской инструкции, а, во-вторых, показать способы, которые позволяют преподавателю, имеющему успешный опыт офлайн-обучения, использовать и расширять его в онлайн-обучении.

В представленном нами документе кратко рассмотрены прежде всего организационные моменты (как формируется и управляется команда/класс; каковы основные разделы МТ, что в них размещается и какие действия возможны для преподавателя и для студента; на какие моменты в описании необходимо обратить внимание преподавателю и студенту). Далее описываются общие и частные методические приемы, позволяющие «раздвинуть» содержательные и временные границы курса (соотношение материала в письменном и устном форматах; мотивационные эссе и индивидуальные планы языкового развития конкретного студента; структура одного практического занятия; использование студенческих домашних заданий для обучения других студентов; варианты заданий и тестов, а также способов их контроля; геймификация и персонализация в учебном процессе).

Assignment organization for a lecture course in linguistic disciplines on the Microsoft Teams platform for students of technical specialties: system, teaching methodology, results

Muraveva N.V., Sorokin A.E.

MAI, Moscow, Russia

Online learning of students at the Moscow aviation Institute has been actively conducted on the LMS MAI platform (learning management system) for several years. Microsoft Teams (MT) platform has recently become an important and promising addition to this system in MAI, which allows, on the one hand, to create resources for online classes, and, on the other hand, to expand communication skills in the information environment for both students and teachers.

However, any form of distance learning, despite the presence of detailed instructions, causes various organizational/ technological, methodological and even psychological problems, especially in situations of teaching linguistic disciplines. This fact is explained by the fact that instructions are created by IT-specialists who are not ready to take the user's position when developing such texts (although it is declared).

Based on our own experience of successful and unsuccessful activities, we, in fact, have developed step-by-step "instructions" for organizing assignments for the course "Russian language and speech culture" on the Microsoft Teams platform. At the same time, we, firstly, tried to describe those "small" details that seem obvious to a specialist and therefore unnecessary in the user manual, and, secondly, to show the ways that allow a teacher who has a successful offline learning experience, to use and expand it in online learning.

The document presented by us briefly discusses, first of all, organizational aspects (how the team / class is formed and managed; what are the main sections of MT, what is placed in them and what actions are possible for the teacher and for the student; what points in the description should be paid attention to the teacher and the student). The following describes general and particular methodological techniques that allow you to "push" the content and time limits of the course (the ratio of material in written and oral formats; motivational essays and individual plans for the language development of a particular student; structure of one practical lesson; use of student homework to teach other students; options for tasks and tests, as well as ways to control them; gamification and personalization in the educational process).

Моделирование проектов создания авиационных изделий для использования в системах управления жизненным циклом

¹Мустаев И.З., ²Семивеличенко Е.А., ²Максимова Н.К., ³Иванов В.Ю., ¹Мустаев Т.И.

¹УГАТУ, ²ПАО «ОДК-УМПО», ³ООО «ДБА-инжиниринг», г. Уфа, Россия

В статье изложены элементы моделирования проектов создания авиационных изделий в рамках социофизического подхода. Предметом статьи является инновационный проект создания авиационного изделия. Показано, что социофизический подход позволяет на этапе проектирования учесть индивидуальные экономические, социальные и технологические особенности предприятия, на котором реализуется проект, а также учесть технические особенности проектируемого объекта. Приведено сопоставление характера принятия решения о реализации проекта с применением социофизического подхода, и решения о реализации проекта, принятого с использованием оценки приведенной стоимости проекта. Показаны преимущества применения социофизического подхода в сравнении с подходом,

ориентирующимся на оценку приведенной стоимости проекта. Показано, что применение социофизического подхода открывает путь к решению проблемы поиска надежных последовательно интерпретируемых решений на всех этапах жизненного цикла инновационного проекта, начиная с этапа проектирования и завершая этапом утилизации. Формализована особенность социофизического подхода, связанная с использованием разнородной технической, технологической, экономической и другой информации. Приведена терминология, применяемая при социофизическом моделировании проектов. В рамках социофизического моделирования формализованы понятия о социофизических потенциалах проекта и предприятия, на котором проект реализуется. Раскрыто содержание понятия технологического уклада предприятия как социофизической категории. Приведена структура используемых социофизических моделей проекта. Приведены результаты моделирования проектов, сохраняющих или изменяющих технологический уклад предприятия. Приведена иллюстрация моделей соответствующих проектов. Приведены результаты расчетов, подтверждающие эффективность использования социофизического подхода.

Simulation of projects for creation of aircraft products for use in life cycle management systems

¹Mustaev I.Z., ²Semivelitchenko E.A., ²Maksimova N.K., ³Ivanov V.Yu., ¹Mustaev T.I.

¹USATU, ²PJSC "UEC-UMPO", ³LLC "DBA-engineering", Ufa, Russia

The article describes the elements of modeling projects to create complex technical objects in the framework of the sociophysical approach. An innovative project to create a complex technical facility. It is shown that the proposed approach allows you to develop individual economic, social and technological features of the enterprise. A decision was made to implement the project using an estimate of the present value of the project. The advantage of applying the sociophysical approach in comparison with the approach focused on assessing the present value of the project. It is shown that the application of the sociophysical approach opens the way to solving the problems of finding reliable interpretable solutions at all stages of the life cycle of an innovative project. A formalized feature of the sociophysical approach associated with the use of diverse economic, technical, technological and other information. The terminology used in the sociophysical modeling of enterprises and projects is given. Within the framework of sociophysical modeling, concepts of cooperation between the project and the enterprise are formed. The structure of sociophysical models of enterprises and projects is disclosed. The definition of the technological structure of the enterprise as a sociophysical category is given. The results of studies of the types of projects implemented at the enterprise are presented, its technological layouts are saved or changed. A graphic illustration of design processes models is given. Some calculation results confirming the efficiency of using the accumulated potentials are presented.

PR-продвижение Авиационного кластера на Международном военно-техническом форуме «Армия-2020»

Назаров А.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Международный военно-технический форум (МВТФ) «Армия» по праву считается престижной выставочной площадкой, на которой демонстрируются самые передовые инновационные разработки и технологии. Так, на очередном Форуме в 2020 г. приняли участие 1500 отечественных и зарубежных компаний, заявивших к показу свыше 25 тысяч образцов военной и специальной техники, состоялось более 170 научно-деловых мероприятий и встреч. Подсчитано, что в дни Форума в Москве и различных регионах страны его посетили около 1,5 млн. человек (в 2019 г. было 800 тысяч), а общая сумма контрактов составила 1 трлн 160 млрд рублей, что превысило результаты предыдущих МВТФ.

На протяжении всего периода работы Форума более 750 журналистов, в т.ч. свыше 120 – из иностранных государств, принимали деятельное участие в его освещении. Практически

все печатные СМИ, радио и телевидение РФ оживленно обсуждали работу Форума, сходились во мнении, что это грандиозное мероприятие в целом удалось, приводили восторженные отзывы специалистов и посетителей. Этому способствовало и то, что в небе над аэродромом Кубинке парадным строем пролетели находящиеся на вооружении МО РФ истребители и бомбардировщики, ударные вертолеты. Фигуры высшего пилотажа, выполненные авиагруппами «Стриж», «Русские Витязи» и «Беркуты», с восторгом воспринимали большое число посетителей, дополнив прилагаемые усилия по PR-продвижению проводимого Форума.

Во многом это стало результатом продуманного осуществления информационной компании по PR- продвижению как самого МВТФ, так и его отдельных кластеров. Так, специально для СМИ была разработана рабочая программа, охватывающая все основные мероприятия Форума, включая Авиационный кластер, регулярно выходило официальное ежедневное издание о событиях, состоявшихся на нём, особенно подчеркивалось, что стоящая перед российским ОПК задача по диверсификации продукции, доведения к 2025 г. выпуска на его предприятиях до половины гражданских товаров, принята к действию.

В презентационной зоне Авиационного кластера размещались экспонаты ведущих предприятий авиастроительной промышленности, научно-исследовательских учреждений и вузов, среди которых выделились такие разработки МАИ, как стенд по отработке аддитивного производства и модуль автоматического управления планирующим парашютом.

Все это свидетельствует о приобретении выставкой нового качества и свойства, реализации на её площадке уникальных форматов, дебютов новинок, что достигнуто благодаря грамотному её PR-продвижению.

PR-promotion of the Aviation Cluster at the International military-technical forum "Army -2020"

Nazarov A.D.

MAI, Moscow, Russia

The international military-technical forum (IMTF) "Army" is considered to be a prestigious exhibition platform where the most advanced innovative developments and technologies are demonstrated. So, the next forum in 2020 was attended by 1,500 domestic and foreign companies that announced more than 25 thousand samples of military and special equipment, more than 170 scientific and business events and meetings were held. It is estimated that about 1.5 million people visited the Forum in Moscow and various regions of the country (in 2019 it was 800 thousand), and the total amount of contracts was 1trln 160 billion rubles, which exceeded the results of previous MWFS.

During the entire period of the Forum, more than 750 journalists, including more than 120 from foreign countries, took an active part in its coverage. Almost all print media, radio and television of the Russian Federation actively discussed the work of the Forum, agreed that this Grand event was generally successful, and gave enthusiastic reviews from experts and visitors. This was also facilitated by the fact that in the sky over the Kubinka airfield, fighters and bombers and attack helicopters that are in service with the Russian defense Ministry flew in a parade formation. Aerobatics performed by the Strizh, Russian Knights and Golden eagles air groups were enthusiastically received by a large number of visitors, adding to the efforts made to promote the forum.

In many ways, this was the result of a well thought-out implementation of the information campaign for PR-promotion of both the IMTF itself and its individual clusters. So, especially for the media was developed by the working programme, covering all the main events of the Forum, including the Aviation cluster, the regularly published official daily publication about events held at the it was emphasized that facing the Russian defense industry diversify products, bringing to the 2025 issue the firm up to half of civilian goods, adopted for action.

The presentation area of the Aviation cluster hosted exhibits from leading aircraft manufacturing enterprises, research institutions, and universities, among which MAI developments such as the additive manufacturing testing stand and the automatic gliding parachute control module stood out.

All this shows that the exhibition has acquired a new quality and quality, implemented unique formats on its site, and debuted new products, which was achieved thanks to its competent PR-promotion.

Изучение, использование современных on-line технологий в МАИ в период самоизоляции

Неверова Н.В., Федотова Л.А., Белякова В.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Одной из важнейших программ в течение 2020 года является изучение воздействия пандемии COVID-19 на все сектора общественной жизни. Общий режим самоизоляции затронул все сферы экономики и государственного сектора, и образование не явилось исключением. Актуальной проблемой в рамках научных исследований теории и практики представляет собой анализ дистанционного образования (на примере МАИ), заменяющий в настоящее время традиционные формы обучения на всех уровнях образовательной системы.

Методы исследования - метод комплексного анализа наработок теоретического и практического характера современных ученых, а также данных опроса студентов при помощи дистанционного метода.

Предположение о том, что современная форма дистанционного обучения позволяет получить необходимый уровень образования, достаточный объем знаний в соответствии с традиционными образовательными программами является гипотезой данного исследования. В работе рассмотрены сильные и слабые стороны дистанционного обучения студентов в учебных заведениях, указаны трудные моменты, с которыми могут столкнуться учащиеся и преподаватели, отображены возможные способы преодоления этих трудностей.

On-line обучение сегодня широко используется на всех формах обучения в образовательных учреждениях, его применение поддерживается рядом утвержденных

нормативно-правовых актов и законов Российской Федерации. Поэтому, практика опыта преподавания посредством дистанционного обучения на платформах LMS, Microsoft teams в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) в условиях распространения пандемии является актуальной. Практические разработки и исследования современных ученых-новаторов явились предшественниками данной работы.

В соответствии с результатами исследования был сделан вывод о том, что форма on-line обучения имеет неоспоримые преимущества в получении образования и саморазвития студентов и педагогов. Но все же, предпочтение остается за программами очного обучения, но уже с использованием методов и инструментов дистанционного образования. В постпандемический период усовершенствование системы образования в России и во всем мире будет благоприятствовать увеличению доли дистанционного обучения, поэтому преподаватели, учителя, студенты и учащиеся должны уверенно внедрять новую систему обучения.

Studing, using of modern on-line technologies at MAI during the period of self-isolation

Neverova N.V., Fedotova L.A., Belyakova V.V.
MAI, Moscow, Russia

One of the most important programs during 2020 is to study the impact of the COVID-19 pandemic on all sectors of public life. The general regime of self-isolation affected all spheres of public life, the economy and the public sector, and education, accordingly, was included in this list. An urgent problem in the framework of scientific research of theory and practice is the analysis of distance education (for example, MAI), which is currently replacing traditional forms of education at all levels of the educational system.

Research methods – a method of complex analysis of theoretical and practical developments of modern researchers, as well as data from a survey of students using the remote method.

The assumption that the modern form of distance learning allows you to get the required level of education, a sufficient amount of knowledge in accordance with traditional educational programs is the hypothesis of this study. The paper considers the strengths and weaknesses of distance learning for students in educational institutions, indicates the difficult moments that students and teachers may face, and displays possible ways to overcome these difficulties. The practice of teaching experience through distance learning on LMS platforms, Microsoft Teams at Moscow Aviation Institute (National Research University) in the context of the spread of a pandemic is also presented. Practical developments and research of modern scientists-innovators were the predecessors of this work.

In accordance with the results of the study, it was concluded that the form of on-line education has undeniable advantages in obtaining education and self-development of students and teachers. But still, preference remains with face-to-face training programs using methods and tools of distance education. In post-pandemic period, the improvement of the education system in Russia and around the world will favor an increase in the share of distance learning, therefore, teachers, teachers, students and pupils must confidently introduce the new education system.

Механизм определения величины возможного ущерба от аварийной ситуации на основе нейронных сетей

Нехрест-Бобкова А.А., Бурдина А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Нефтегазовый сектор является жизненно важным и одним из ключевых секторов в экономике России. Поэтому необходимо на постоянной основе осуществлять предварительную оценку и прогнозирование рисков, а также анализ аварийных ситуаций.

Прогнозирование материального ущерба от аварийной ситуации является немаловажной задачей при планировании бюджета. В существующих методиках определения ущерба недостаточное внимание уделяется определению вероятности возникновения аварийных ситуаций. Современные технологии математического моделирования позволяют вычислять вероятность наступления событий по имеющимся на данный момент параметрам, несмотря на то, что зависимости между ними являются нелинейными или даже неявными. Нейронные сети являются одним из инструментов математического моделирования, которые находят связи между различными параметрами с нелинейными связями. Их применение для вычисления вероятности наступления какого-либо события основано на решении задачи классификации объектов. Более точное вычисление вероятности приводит к более точным результатам прогнозирования величины возможного ущерба.

В ходе исследования были спроектированы две нейронные сети для вычисления вероятности возникновения аварийной ситуации по причине износа оборудования и по причине внешнего механического воздействия. В качестве внешнего механического воздействия рассматривается изменение береговых линий термокарстовых озер. Моделирование проводилось на языке python с использованием библиотеки Keras. На основе данных моделирования предложена классификация состояния магистрального газо-, нефтепровода. В результате разработан механизм определения величины возможного ущерба от аварийной ситуации на основе нейронных сетей.

Mechanism for determining the amount of possible damage from an emergency based on neural networks

Nekhrest-Bobkova A.A., Burdina A.A.

MAI, Moscow, Russia

The oil and gas sector is a vital sector in the Russian economy. Therefore, a preliminary assessment and forecasting of risks have to be carried out on a regular basis, as well as an analysis of accidents.

Financial damage forecasting is important when planning a budget. The existing methods of damage assessment pay insufficient attention to the probability of accident estimation. Modern math modeling technologies allow calculating the probability of events based on the currently available indicators. Neural network is one of the tools that find relations between different

parameters with nonlinear or implicit connections. The application of this technology is based on the problem of object classification. A more accurate calculation of the probability leads to more accurate results in the amount of possible damage forecasting.

In the course of the study, two neural networks were designed to calculate the probability of an accident due to equipment wear and external mechanical impact. As an external mechanical impact changes in the shorelines of thermokarst lakes are considered. The simulation was performed using “python” and “Keras” library. A classification of the pipeline state is proposed, based on the simulation data. As a result, a mechanism for determining the amount of possible damage from an accident has been developed.

Нейронные сети при оценке кредитоспособности и кредитных рисков

Никулина Е.Н., Коновалова А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Проведён анализ нормативно-правовых актов, регулирующих ключевые аспекты оценки кредитоспособности заемщиков в Российской Федерации. Понятие кредитоспособности заключается в финансово-правовой характеристике физического или юридического лица, представленной в виде экономических показателей, выражающих готовность заемщика в срок в полном объеме выплатить кредитные обязательства. Оценка кредитополучателя представляет собой анализ его возможностей погашения предоставленного ему кредита в случае положительного заключения. Также в процессе анализа определяется степень кредитных рисков, которые в последующем примет на себя банк вследствие осуществления кредитования.

В настоящее время можно перечислить следующие методы оценки кредитоспособности заемщика: скоринговая модель; анализ кредитоспособности по уровню кредитной истории; модель изучения платежеспособности клиента; андеррайтинг.

Для принятия экономически обоснованного взвешенного решения относительно предоставления кредита, банку необходимо не только оценивать возможности по возврату займа физическим или юридическим лицом, но также оценивать риски невозврата предоставляемого кредита.

С целью управления кредитными рисками стали применяться методы, позволяющие учитывать недостаточность, искаженность данных. В группу этих методов входит ряд математических моделей, к которым относятся искусственные нейронные сети. На практике они стали использоваться во многих сферах, связанных с решением задач прогнозирования, управления, классификации.

Нейронные сети дают возможность моделировать сложнейшие процессы. Особенность нейронных сетей заключается в механизме обучения.

Разработана архитектура нейронной системы. Теоретическое обоснование нейросетевого моделирования базируется на теореме Колмогорова. Теорема означает, что любую функцию многих переменных можно представить в виде композиции и суммирования функций одной переменной. Модель данных: необходимо выбрать модель данных, которые будут подаваться на вход системы, а также данных, которые система будет генерировать на выходе. Входными данными для системы будут служить данные о клиенте. Каждому клиенту система будет ставить в соответствие оптимальный набор правил кредитования. Входные данные: имущество в собственности, кредитная история, опыт ведения бизнеса, ежегодный доход, желаемая сумма кредита, срок кредита и т.д. Выходные данные: решение о выдаче кредита, сумма кредита, срок кредита, процентная ставка, возможная отсрочка о выдаче кредита и т.д.

Neural networks for assessing creditworthiness and credit risks

Nikulina E.N., Konvalova A.A.

MAI, Moscow, Russia

The analysis of regulatory legal acts governing key aspects of assessing the creditworthiness of borrowers in the Russian Federation. The concept of creditworthiness consists in the financial and legal characteristics of an individual or legal entity, presented in the form of economic indicators

expressing the borrower's willingness to repay loan obligations in full on time. The assessment of the borrower is an analysis of his possibilities of repayment in the future of the loan granted to him in case of a positive conclusion. Also, in the process of analysis, the degree of credit risks is determined, which the bank will subsequently assume as a result of lending.

Currently, you can list the following methods for assessing the creditworthiness of a borrower: scoring model; analysis of creditworthiness by the level of credit history; model for studying the client's solvency; underwriting.

To make an economically sound, balanced decision regarding the granting of a loan, the bank needs not only to assess the possibilities for repayment of the loan by an individual or legal entity, but also to assess the risks of non-repayment of the loan provided.

In order to manage credit risks, methods have been applied that take into account the insufficiency and distortion of data. The group of these methods includes a number of mathematical models, which include artificial neural networks. In practice, they began to be used in many areas related to solving problems of forecasting, management, classification.

Neural networks make it possible to simulate the most complex processes. The peculiarity of neural networks is the learning mechanism.

The architecture of the neural system has been developed. The theoretical substantiation of neural network modeling is based on the Kolmogorov theorem. The theorem means that any function of several variables can be represented as a composition and summation of functions of one variable. Data model: it is necessary to select a data model that will be fed to the input of the system, as well as the data that the system will generate at the output. The input data for the system will be customer data. The system will match each client with an optimal set of lending rules. Input data: ownership of property, credit history, business experience, annual income, desired loan amount, loan term, etc. Imprint: the decision to issue a loan, the loan amount, loan term, interest rate, possible deferral of the loan, etc.

Иновационная активность конкурентоустойчивых предприятий авиационно-космического комплекса

Новиков С.В., Тихонов А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Устойчивое функционирование предприятий авиационной и ракетно-космической отраслей является важным условием инновационного развития отечественной промышленности. Конкурентоустойчивость высокотехнологичных предприятий военно-промышленного комплекса обеспечивается за счет управления показателями внутри каждой из областей функционирования: финансовой, производственной, кадровой. Их можно определить при построении функциональной системы и корректировать в зависимости от состояния внешней среды организации с учетом появляющихся возможностей и угроз, учитывая сильные и слабые стороны ее внутренней среды. Так как конкурентоустойчивость функционирования предприятия определяется конкретными количественными показателями, задача формирования эффективного инструментария по работе с ними заключается, прежде всего, в установлении их состава, и нормативно-плановых значений, а также границ допустимых отклонений от них. Система отслеживаемых и встраиваемых в нее показателей должна находиться в динамичном равновесии с учетом фактора времени. Сохранение оптимальных ключевых экономических характеристик системе гарантируют установленные аналитическим путем взаимосвязи и взаимозависимости между показателями, соединенные в единый комплекс путем формирования цепочек причинно-следственных связей. Для обеспечения устойчивого функционирования промышленных предприятий необходимо проводить диагностирование их производственной деятельности с определенной периодичностью, что позволит вырабатывать превентивные управленческие воздействия на включенные в контуры показатели либо по сдерживанию их движения к предельным границам контуров, либо по изменению границ самих контуров, что будет характеризовать выход организаций на новый уровень их развития. Использование системы устойчивого функционирования предприятия позволит обеспечить своевременность

разработок различных инновационных программ и принятие инновационно-активных управленческих решений, обеспечивая таким образом инновационную активность в области управленческих технологий с возможностью сохранения устойчивого функционирования организации во времени.

Innovative activity of competitive enterprises of the aerospace complex

Novikov S.V., Tikhonov A.I.

MAI, Moscow, Russia

The sustainable operation of enterprises in the aviation and rocket-space industries is an important condition for the innovative development of the domestic industry. The competitiveness of high-tech enterprises of the military-industrial complex is ensured through the management of indicators within each of the areas of operation: financial, production, personnel. They can be determined when building a functional system and adjusted depending on the state of the organization's external environment, taking into account the emerging opportunities and threats, taking into account the strengths and weaknesses of its internal environment. Since the competitiveness of the functioning of an enterprise is determined by specific quantitative indicators, the task of forming an effective toolkit for working with them is, first of all, in establishing their composition, and standard-planned values, as well as the boundaries of permissible deviations from them. The system of monitored and embedded indicators should be in dynamic equilibrium, taking into account the time factor. The preservation of the optimal key economic characteristics of the system is guaranteed by the analytically established interconnections and interdependencies between the indicators, united into a single complex by forming chains of cause-and-effect relationships. To ensure the sustainable functioning of industrial enterprises, it is necessary to diagnose their production activities with a certain frequency, which will allow the development of preventive management impacts on the indicators included in the contours either to restrain their movement to the limiting boundaries of the contours, or to change the boundaries of the contours themselves, which will characterize the exit of organizations to a new level of their development. The use of the system of sustainable functioning of the enterprise will ensure the timeliness of the development of various innovative programs and the adoption of innovatively active management decisions, thus ensuring innovative activity in the field of management technologies with the possibility of maintaining the stable functioning of the organization over time.

Влияние внедрения мероприятий по экологическому менеджменту на рост конкурентоспособности продукции предприятий аэрокосмического комплекса

Огородников С.С., Афолина О.А., Галкина Е.Е., Мурманцева Е.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

В сегодняшней экономической ситуации предприятиям необходимо приложить максимум усилий для повышения конкурентоспособности. В условиях роста загрязнения окружающей среды, одним из факторов, влияющих на конкурентоспособность предприятия является его работа, направленная на сохранение окружающей природной среды. Одним из способов решения этой актуальной проблемы является внедрение в практику работы предприятия Системы экологического менеджмента (СЭМ) согласно требованиям, изложенным в международном стандарте ISO 14001:2015 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению». СЭМ – это инструмент для разработки политики и определения сокращения воздействия на окружающую среду. Внедрение СЭМ направлено на решение таких задач, как приоритет охраны жизни и здоровья человека, обеспечение благоприятных экологических условий для жизни, труда и отдыха, обеспечение гарантий прав работника на здоровую для жизни окружающую среду, т.е. на первое место ставится социальные задачи, которые оцениваются через показатели средней продолжительности жизни (СПЖ), уменьшение количества несчастных случаев и профзаболеваний, улучшения условий труда, увеличение работоспособности работника.

Для решения экологических вопросов следует провести экологический SWOT-анализ предприятия (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). Такой анализ позволит оценить

сильные и слабые стороны предприятий аэрокосмического комплекса и является эффективным средством изучения его социально-экономического потенциала.

Предлагается ввести в отчетность предприятия показатели социально-эколого-экономической эффективности, учитывая показатели экологического ущерба, уменьшение величины платежей за использование природных ресурсов, за загрязнение окружающей среды, внедрение механизма стимулирования персонала предприятия за успешную работу по внедрению СЭМ. Внедрение СЭМ даст предприятию такие выгоды, как выход на новые рынки с экологически чистой продукцией, экономию энергии, сырья, ресурсов, увеличение возможности для получения кредитов, улучшение имиджа предприятия, укрепление позиций на рынке.

Также с целью повышения конкурентоспособности следует учесть требования таких нормативных документов, как «Системы менеджмента качества. Требования» (ГОСТ Р ИСО 9001-2015), «Системы менеджмента охраны здоровья и обеспечения безопасности труда. Требования и руководство по их применению» (ISO 45000:2018), «Менеджмент знаний. Руководство по наилучшей практике» (ГОСТ Р 57127-2016) и др.

Impact of implementation of environmental management measures on the growth of competitiveness of products of aerospace complex enterprises

Ogorodnikov S.S., Afonina O.A., Galkina E.E., Murmanceva E.Y.
MAI, Moscow, Russia

In today's economic situation, businesses need to make every effort to improve their competitiveness. In the conditions of increasing environmental pollution, one of the factors affecting the competitiveness of an enterprise is its work aimed at preserving the environment. One of the ways to solve this urgent problem is to introduce an environmental management System (EMS) into the company's practice in accordance with the requirements set out in the international standard ISO 14001:2015 "Environmental management systems – Requirements with guidance for use". EMS is a tool for policy development and environmental impact reduction. The implementation of the EMS is aimed at achieving such tasks as the priority of protecting human life and health, ensuring favorable environmental conditions for life, work and recreation, guaranteeing the employee's rights to a healthy environment for life, that is, social goals are put first, which are estimated through indicators of average life expectancy, reducing the number of accidents and occupational diseases, improving working conditions, increasing the employee's performance.

To solve environmental issues, you should conduct an environmental SWOT analysis of the enterprise (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). This analysis will allow us to assess the strengths and weaknesses of aerospace enterprises and is an effective tool for studying its socio-economic potential.

It is proposed to introduce indicators of socio-ecological and economic efficiency in the company's reporting, taking into account indicators of environmental damage, reducing the amount of payments for the use of natural resources, for environmental pollution, and introducing a mechanism for stimulating the company's personnel for successful work on the implementation of EMS. The introduction of EMS will give the company such benefits as entering new markets with environmentally friendly products, saving energy, raw materials, resources, increasing opportunities for obtaining loans, improving the company's image, and strengthening its position in the market.

Also, to increase competitiveness, it is necessary to consider the requirements of such regulatory documents as "Quality management systems. Requirements" (GOST R ISO 9001-2015), "Health and safety management systems. Requirements and guidelines for their application" (ISO 45000:2018), "Knowledge Management. Best Practice Guide".

Создание электронной системы мониторинга удовлетворенности участников образовательного процесса

Одинцова Е.И., Кириллова А.М.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время высшие образовательные учреждения наделены довольно высокой степенью свободы и независимости в своей образовательной деятельности.

Приоритетным фактором в образовании является его качество. Поддержание качества образования осуществляется внешней и внутренней оценкой качества образовательной деятельности ВУЗа.

При оценке качества образования одним из важных факторов является получение обратной связи от трех групп участников образовательного процесса (работодателей; студентов на разных этапах обучения; сотрудников образовательной организации). Для построения данной связи необходима система мониторинга и измерения удовлетворенности участников образовательного процесса, которая позволяет непрерывно получать и оценивать первичную информацию от респондентов. Система помогает проводить оценку конкурентоспособности ВУЗа на рынке образовательных услуг и востребованность выпускников на рынке труда.

Сбор информации осуществляется с помощью анкеты-опросника на электронном интернет-ресурсе, обеспечивающим полную анонимность для респондентов, а значит и самую объективность оценки получаемой образовательной услуги.

Анкетирование студентов проводится на разных этапах обучения: анкета «первого впечатления», предназначенная для студентов только поступивших на первый курс (анкетирование проводится в конце первого месяца обучения); анкета для студентов 2-3 курса в зависимости от срока обучения по направлению подготовки/специальности; анкета для студентов-выпускников и анкета для выпускников, трудоустроенных на предприятиях аэрокосмической отрасли (анкетирование проводится через год после получения диплома). В результате анализа результатов анкетирования ВУЗ имеет возможность проводить своевременную корректировку процессов (организационного, учебного, административного и др.) университета.

Анкета, разработанная для работодателей имеет обширное количество критериев оценки качества подготовки выпускников ВУЗа, оценивающих важность полученных знаний и навыков для выполнения профессиональных обязанностей.

Система мониторинга и измерения удовлетворенности участников образовательного процесса позволяет представлять результаты графически (графики, диаграммы, лепестковые диаграммы) и провести автоматизированную обработку с использованием аналитических методов (например, рассчитать индекс удовлетворенности потребителя, суммарный индекс удовлетворенности).

Creation of an electronic system for monitoring the satisfaction of participants in the educational process

Odintsova E.I., Kirillova A.M.

MAI, Moscow, Russia

Currently, higher education institutions are endowed with a fairly high degree of freedom and independence in their educational activities.

The priority factor in education is its quality. Maintaining the quality of education is carried out by external and internal assessment of the quality of educational activities of the University.

When evaluating the quality of education, one of the important factors is to receive feedback from three groups of participants in the educational process (employers, students at different stages of training, employees of the educational organization). To build this connection, we need a system for monitoring and measuring the satisfaction of participants in the educational process, which allows us to continuously receive and evaluate primary information from respondents. The system helps to assess the competitiveness of the University in the market of educational services and the demand for graduates in the labor market.

Information is collected using a questionnaire on an electronic Internet resource, which provides complete anonymity for respondents, and therefore a more objective assessment of the educational service received.

Students are surveyed at different stages of training: the "first impression" questionnaire, intended for students who have just entered the first year (the survey is conducted at the end of the first month of training); the questionnaire for students of 2-3 courses, depending on the duration of training in the field of training/specialty; the questionnaire for graduate students and the questionnaire for graduates employed in the aerospace industry (the survey is conducted a year after receiving the diploma). As a result of analyzing the results of the survey, the University has the opportunity to make timely adjustments to the processes (organizational, educational, administrative, etc.) of the University.

The questionnaire developed for employers has an extensive number of criteria for evaluating the quality of training of University graduates, assessing the importance of the knowledge and skills acquired for the performance of professional duties.

The system for monitoring and measuring the satisfaction of participants in the educational process allows you to present the results graphically (graphs, diagrams, petal charts) and perform automated processing using analytical methods (for example, calculate the consumer satisfaction index, the total satisfaction index).

Формирование инновационных энергоэффективных кластеров в условиях цифровой экономики

Паламарчук А.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Прошедшее десятилетие ознаменовалось значительными успехами в сфере развития инновационной промышленности. Одним из направлений этого развития стало создание значительно числа кластеров, призванных объединить разработчиков и производителей инноваций, а также обеспечить их необходимой инфраструктурой для реализации инновационно-инвестиционных проектов. Кроме того, к существенным изменениям в сфере инновационного производства привело глобальное распространение технологий Четвертой промышленной революции, ставших основой цифровой трансформации современных предприятий и кластеров.

Как показали предыдущие исследования автора, одним из серьезных барьеров на пути к успешному развитию в России кластерной экономики является высокая избыточная энергоемкость отечественных промышленных предприятий, снижение которой объективно необходимо для обеспечения достаточно высокого уровня конкурентоспособности формируемого кластера. С целью преодоления этого барьера, а также использования потенциала Индустрии 4.0 в сфере кластерной интеграции, автором был разработан новый тип кластерных структур – инновационные энергоэффективные кластеры. Под инновационным энергоэффективным кластером понимается консолидированный по принципу географической близости комплекс промышленных предприятий, научных организаций различного профиля, компании-интегратора, отвечающей за внедрение систем и технологий цифровизации на уровне всего кластера, а также энергосервисной компании, обеспечивающей внедрение и непрерывное развитие энергосберегающих систем и оборудования. Построение подобных кластеров предполагает системное внедрение следующих технологий Индустрии 4.0 в рамках общей цифровой среды: искусственный интеллект, киберфизические системы, коллаборативные промышленные роботы, Промышленный интернет вещей, системы машинного анализа Больших данных, цифровые двойники и др. При этом, в рамках одного из блоков Программы стратегического развития инновационных энергоэффективных кластеров в нее входит стратегия повышения энергетической эффективности. Применение механизма энергетического сервиса позволяет внедрять энергосберегающие технологии за счет энергосервисной компании, впоследствии возвращающей вложенные инвестиции за счет получения средств из размера достигаемой экономии вплоть до окончания срока действия энергосервисного контракта. В то же время,

участники кластера до его окончания оплачивают затраты на энергоресурсы без учета этой экономии в полном объеме.

Formation of innovative energy-efficient clusters in the digital economy

Palamarchuk A.G.

MAI, Moscow, Russia

The past decade has been marked by significant progress in the development of innovative industry. One of the directions of this development was the creation of a significant number of clusters designed to unite developers and producers of innovations, as well as provide them with the necessary infrastructure for implementing innovation and investment projects. In addition, the global spread of technologies of the Fourth industrial revolution, which became the basis for the digital transformation of modern enterprises and clusters, led to significant changes in the field of innovative production.

As the author's previous research has shown, one of the serious barriers to the successful development of the cluster economy in Russia is the high excess energy intensity of domestic industrial enterprises, which reduction is objectively necessary to ensure a sufficiently high level of competitiveness of the cluster being formed. In order to overcome this barrier, as well as use the potential of industry 4.0 in the field of the author developed a new type of cluster structures – innovative energy-efficient clusters. An innovative energy-efficient cluster is a complex of industrial enterprises, scientific organizations of various profiles consolidated by geographical proximity, an integrator company responsible for implementing digitalization systems and technologies at the level of the entire cluster, as well as an energy service company that ensures the introduction and continuous development of energy-saving systems and equipment. Building such clusters involves the systematic implementation of the following Industry 4.0 technologies within the overall digital environment: artificial intelligence, cyberphysical systems, collaborative industrial robots, Industrial Internet of things, Big data machine analysis systems, digital twins, etc. At the same time, as part of one of the blocks of the program for the strategic development of innovative energy-efficient clusters, it includes a strategy for improving energy efficiency. The use of the energy service mechanism makes it possible to implement energy-saving technologies at the expense of the energy service company, which subsequently returns the investment by receiving funds from the amount of savings achieved until the end of the energy service contract. At the same time, cluster participants pay for energy costs before the end of the cluster, without taking into account these savings in full.

Особенности рекламной и PR-кампаний по привлечению абитуриентов для поступления в МАИ на профиль подготовки «реклама и связи с общественностью в аэрокосмической отрасли»

Подлесная А.О.

МАИ, г. Москва, Россия

PR образовательных учреждений в авиационной отрасли является относительно новым явлением в российской системе общественных отношений. Необходимость развития связей с общественностью в сфере образования обусловлена относительной доступностью университетского образования, высоким уровнем конкуренции между учебными заведениями авиационной отрасли в связи со значительным увеличением их число в последние годы, к растущему демографическому кризису в конце 1990-х, из-за которого число претендентов в последние годы было значительно ниже, чем раньше. Одной из тенденций развития рынка образовательных услуг является использование различных PR-технологий для создания благоприятного имиджа авиационного вуза. Большинство основных специальностей предлагаются во всех университетах, и важно, чтобы преимущества этого учебного заведения были представлены правильно, с указанием того факта, что авиационный вуз является уникальным именно тем, что в нем присутствуют только специальности авиационной тематики.

Универсальная версия PR-кампании авиационного вуза в России еще не разработана. Существует общий стратегический план PR-кампании, который разрабатывается на

достаточно длительный период от трех до пяти лет. Как правило, он содержит общепринятые шаги: общие положения - название и краткое описание продукта или услуги, являющейся предметом кампании по связям с общественностью; формулирование основных целей PR-кампании, их определение и интерпретация; создание портрета целевой группы по связям с общественностью; определение географии PR-кампании, ее дат и периодов; экспертиза конкурентов, их достоинства и недостатки; определение бюджета кампании по связям с общественностью; определение медиа стратегии, распределение рекламного давления.

Тактический план, включая более короткую кампанию по связям с общественностью, является тактическим отражением стратегии. В этом случае в дополнение к стандартным мероприятиям, проводимым в рамках кампаний по связям с общественностью, таким как дни открытых дверей, посещения школ и производство рекламной продукции, используются такие методы, как организация конференций и круглых столов для школьников и их родителей, проведение «горячих линий» для родителей; организация студентами публичных мероприятий вне вуза; расширение университета: увеличение количества специальностей и направлений подготовки по мере необходимости; разработка диверсифицированного пакета учебных программ университета.

Modern PR technologies for promoting the Moscow Aviation Institute (national research University) as one of the leading aviation universities in Russia

Podlesnaya A.O.

MAI, Moscow, Russia

PR of educational institutions in the aviation industry is a relatively new phenomenon in the Russian system of public relations. The need to develop public relations in the field of education is due to the relative availability of University education, the high level of competition between educational institutions in the aviation industry due to a significant increase in their number in recent years, and the growing demographic crisis in the late 1990s, due to which the number of applicants in recent years was significantly lower than before. One of the trends in the development of the educational services market is the use of various PR-technologies to create a favorable image of an aviation University. Most of the main majors are offered at all universities, and it is important that the advantages of this institution are presented correctly, indicating the fact that the aviation university is unique in that it contains only aviation-related specialties.

A universal version of the PR-campaign of an aviation university in Russia has not yet been developed. There is a general strategic plan for a PR-campaign that is developed over a fairly long period of three to five years. As a rule, it contains generally accepted steps: General provisions – the name and brief description of the product or service that is the subject of the public relations campaign; formulation of the main goals of the PR-campaign, their definition and interpretation; creating a portrait of the public relations target group; determining the geography of the PR-campaign, its dates and periods; expertise of competitors, their advantages and disadvantages; determining the budget of the public relations campaign; determining the media strategy, distribution of advertising pressure.

A tactical plan, including a shorter public relations campaign, is a tactical reflection of the strategy. In this case, in addition to standard events held as part of public relations campaigns, such as open days, school visits, and production of advertising products, methods such as organizing conferences and round tables for students and their parents, conducting hotlines for parents, and organizing public events outside of the university are used; expansion of the university: increasing the number of specialties and areas of training as needed; developing a diversified package of university curricula.

Методологические аспекты цифрового образования студентов аэрокосмических вузов

Полищук Н.В., Кирюшкина Н.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Целью работы является систематизация возможности применения инструментов цифровых технологий в различных сферах образования, как отрасли, для обеспечения подготовки специалистов для продуктивного и ориентированного на цели развития экономики, производства и управления.

Задачи систематизации представлений относительно применения цифровых технологий в развитии науки, производства, экономики и управления в настоящее время имеют большую научную и практическую значимость.

Формируется научная терминология, описывающая процесс цифровой трансформации, введено в научный оборот понятие «цифровой зрелости» отраслей, институциональных структур, корпораций и отдельных коммерческих структур.

Процесс перехода к новому качеству системы образования является глобальным и в конкуренции ресурсов и времени, направленных на переход у нового качества образовательных продуктов и услуг. Выживут те образовательные институты, которые быстро перейдут на новые стандарты образования, отвечающие современным требованиям и тенденциям развития цифрового общества.

Основными трендами являются: развитие новой экономики на основе цифровых бизнес моделей, принятие решений на основе большого объема данных в условиях неопределенности, искусственный интеллект и технологии IV промышленной революции, организационная поддержка цифровой трансформации (использование глубинного обучения и нейронных сетей для принятия решений).

В ходе исследования были выявлены проблемы: цифровая трансформация кардинально меняет содержательную основу образовательных программ, реализующихся в рамках систем высшего образования, качество реализации которых в настоящее время серьезно отстаёт от требований, предъявляемых наукой и практикой. В образовательные программы, формирующих базовые компетенции по экономике и менеджменту, не обеспечивают должного уровня владения перечисленными технологиями в настоящих практических условиях, стоимостные и временные издержки на переподготовку несут работодатели.

Стремительность, происходящих изменений, цивилизационный выбор, который приняла Россия в преобразование экономики и других сфер общественной жизни, существенных рисков и серьезных социальных последствий сопровождающих этот процесс требует реализации полномасштабных проектов в рамках ведущих вузов нашей страны по модернизации процесса получения научного и прикладного знания, инструментов и методов современного процесса обучения.

Methodological aspects of digital education of students of aerospace universities

Polishchuk N.V., Kiryushkina N.V.
MAI, Moscow, Russia

The aim of the work is to systematize the possibility of using digital technology tools in various fields of education, as an industry, to ensure the training of specialists for a productive and focused on the development of the economy, production and management.

The tasks of systematizing ideas regarding the use of digital technologies in the development of science, production, economics and management are currently great. scientific and practical significance.

A scientific terminology describing the process of digital transformation is being formed, the concept of “digital maturity” of industries, institutional structures, corporations and individual commercial structures is introduced into scientific circulation.

The process of transition to a new quality of the education system is global and in the competition of resources and time, aimed at the transition to a new quality of educational products

and services. Those educational institutions that will quickly switch to new educational standards that meet modern requirements and trends in the development of a digital society will survive.

The main trends are: the development of a new economy based on digital business models, decision-making based on large amounts of data under conditions of uncertainty, artificial intelligence and technologies of the IV industrial revolution, organizational support for digital transformation (using deep learning and neural networks for decision-making).

In the course of the study, problems were identified: digital transformation radically changes the content basis of educational programs implemented within the framework of higher education systems, the quality of implementation of which is currently seriously lagging behind the requirements of science and practice. In educational programs that form the basic competencies in economics and management, they do not provide the proper level of proficiency in the listed technologies in the current practical conditions, the cost and time costs of retraining are borne by employers.

The swiftness of the ongoing changes, the civilizational choice that Russia made in transforming the economy and other spheres of public life, the significant risks and serious social consequences accompanying this process require the implementation of full-scale projects within the framework of the leading universities of our country to modernize the process of obtaining scientific and applied knowledge, tools and methods of the modern learning process.

Менеджмент программ инновационного развития высокотехнологичных отраслей

Прозоров Д.Е.

МАИ, г. Москва, Россия

Проблемы научного обоснования и практической реализации методологии программно-целевого подхода к управлению программами развития высокотехнологичных организаций приобретают в настоящее время всё большую актуальность и значение.

Менеджмент организаций, создающих наукоёмкую авиационную и космическую продукцию, должно осуществляться с использованием современных принципов, методов и инструментальных подходов, реализующих инновационную методологию управления. В практической реализации стратегий развития разрабатывающим организациям необходимо уделять постоянное внимание генерированию проектов технологических и организационных изменений, наращиванию финансового обеспечения научных исследований и разработок.

В создании летательных аппаратов отмечается высокий уровень международной конкуренции, что заставляет российские высокотехнологичные организации стремиться разрабатывать и выпускать наукоёмкую продукцию на основе передовых технологий. В ходе реализации программ инновационного развития должен решаться комплекс задач повышения конкурентоспособности, роста производительности труда, перепроектирования производственных процессов и совершенствования системы управления. В современных условиях технологической модернизации экономики, включающей масштабное использование цифровых технологий, существует необходимость идентификации и оценки зависимости уровня развития инновационной активности от результатов проблемно-ориентированного использования потенциала разрабатывающих организаций. Особое значение в условиях импортозамещения приобретает инновационная деятельность разрабатывающих предприятий, направленная на создание конкурентоспособной техники и оказания широкого спектра высокотехнологичных услуг.

Достижение значимых результатов в успешной реализации программ развития требует постоянного внимания и поддержки со стороны государственных структур. Действуя в рамках национальной инновационной стратегии, российские авиационно-космические организации целенаправленно реализуют модели и методы эффективного управления своим потенциалом с целью достижения стабильного и устойчивого роста.

В докладе представлены модели управления развитием инновационного потенциала разрабатывающей организации в процессе реализации научно-технических и технологических программ.

Innovative development programs management for high-tech industries

Prozorov D.E.

MAI, Moscow, Russia

The problems of scientific justification and practical implementation of the methodology of the program-target approach to the management of programs for the development of high-tech organizations are currently becoming increasingly relevant and important.

Management of organizations that create high-tech aviation and space products should be carried out using modern principles, methods and instrumental approaches that implement an innovative management methodology. In the practical implementation of development strategies, developing organizations need to pay constant attention to generating projects for technological and organizational changes, and increasing financial support for research and development.

There is a high level of international competition in the creation of aircraft, which makes Russian high-tech organizations strive to develop and produce high-tech products based on advanced technologies. In the course of implementing innovative development programs, a set of tasks should be solved to increase competitiveness, increase labor productivity, redesign production processes and improve the management system. In modern conditions of technological modernization of the economy, including the large-scale use of digital technologies, there is a need to identify and assess the dependence of the level of development of innovation activity on the results of problem-oriented use of the potential of developing organizations. In the context of import substitution, innovative activities of developing enterprises aimed at creating competitive equipment and providing a wide range of high-tech services are of particular importance.

Achieving significant results in the successful implementation of development programs requires constant attention and support from government agencies. Acting within the framework of the national innovation strategy, Russian aerospace organizations purposefully implement models and methods for effective management of their potential in order to achieve stable and sustainable growth.

The report presents models for managing the development of innovative potential of a developing organization in the process of implementing scientific, technical and technological programs.

Метод по решению проблемы кадрового вопроса в авиационной отрасли

Прокопенко Д.А., Наместников А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном мире мы можем наблюдать тенденцию усложнения в производстве и эксплуатации летательных аппаратов, что создает необходимость в структурных объединениях специалистов, охватывающих все стадии от проектирования до утилизации комплексно. В результате проведенных исследований было выявлено несколько причин по которым люди часто покидают компании по истечению закрепленного в договоре целевого обучения срока:

1. Во время становления на предприятии большая часть денег уходит на закрытие бытовых вопросов.

2. Зачастую, недавние выпускники ВУЗов не могут представлять свои проекты и быстро двигаться вверх по карьерной лестнице из-за скептического отношения к ним, вызванного конфликтом поколений.

3. Формирование горизонтальных социальных связей трудоемкий и время затратный (до 3-х лет) процесс, ограничивающий полный потенциал специалистов.

Представленный в работе подход отличен от других тем, что он предусматривает подготовку сразу «КОМАНДЫ». В состав каждой из них будут входить специалисты из различных отраслей, что позволит создать ячейку, которая сможет эффективно функционировать в уже существующей структуре организации и будет способна к автономной работе над поставленной задачей. Реализовать это предлагаю посредством внедрения 3-х этапов, каждый из которых будет обучением, адаптацией, профильной ориентацией будущей «команды». Важным элементом системы являются менторы,

курирующие каждую из групп. Каждый участник «команды» будет обучаться не только по личному профилю, но и по смежным направлениям.

Преимущества, открывающиеся реализацией проекта:

Для обучающихся:

1. Быстрое внедрение в организационную культуру и эффективная коммуникация внутри команды.
2. Приобретение каждым участником как специальных, так и общих навыков.
3. Способность оценивать риски и нести ответственность за принимаемые решения.
4. Отсутствие руководства внутри команды как вышестоящего класса, все решения принимаются коллегиально,
5. Социальные гарантии и долгосрочная занятость.

Для организации:

1. Повышение общей производительности предприятия.
2. Более эффективное решение любой проблемы путем всестороннего и свежего взгляда.
3. Большая эффективность в случае совместной работы, т.к. исключается эффект «конфликта поколений».

4. Способность каждой «команды» работать автономно.

Глобальные перспективы:

1. Избежание оттока образованного населения из России.
2. Формирование общества будущего.
3. Формирование прогрессивной системы образования.

Method for solving the problem of personnel issues in the aviation industry

Prokopenko D.A., Namestnikov A.A.

MAI, Moscow, Russia

In the modern world, we can observe a tendency of complication in the production and operation of aircraft, which creates the need for structural associations of specialists, covering all stages from design to utilization in a complex manner. As a result of the research, several reasons have been identified why people often leave the company after the expiration of the term specified in the target training agreement:

1. During the formation of the enterprise, most of the money is spent on closing household issues;

2. Often, recent university graduates cannot present their projects and quickly move up the career ladder due to skepticism about them caused by generational conflict.

3. Formation of horizontal social ties is a laborious and time consuming (up to 3 years) process that limits the full potential of specialists.

The approach presented in the work differs from others in that it provides for the preparation of the "TEAM" at once. Each of them will include specialists from various industries, which will create a cell that can function effectively in the already existing structure of the organization and will be capable of autonomous work on the task at hand. I propose to implement this through the introduction of 3 stages, each of which will be training, adaptation, profile orientation of the future "team". An important element of the system is the mentors who supervise each of the groups. Each member of the "team" will be trained not only in a personal profile, but also in related areas.

Benefits of project implementation.

For students:

1. Rapid implementation in the organizational culture and effective communication within the team.

2. The acquisition by each participant of both special and general skills.

3. Ability to assess risks and be responsible for decisions made.

4. Lack of leadership within the team as a superior class, all decisions are made collectively.

5. Social guarantees and long-term employment.

For the organization:

1. Increasing the overall productivity of the enterprise.

2. More effective solution to any problem through a comprehensive and fresh look.
3. Greater efficiency in the case of joint work, because the effect of “generational conflict” is excluded.

4. Ability of each "team" to work autonomously.

Global Perspectives:

1. Avoiding the outflow of the educated population from Russia.
2. Formation of the society of the future.
3. Formation of a progressive education system.

Повышение уровня вовлеченности и лояльности работников авиационных предприятий

Просвирина Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Сегодня самым главным ресурсом и гарантом успешного функционирования авиационного предприятия является его персонал. Как показывают исследования, чем больше схожи в интересах работодатель и работник, чем выше удовлетворенность, тем выше показатели лояльности и вовлеченности сотрудника в работу.

При проведении исследования был проанализирован уровень лояльности и вовлеченности персонала на предприятиях авиационной отрасли. Исследование проводилось с целью выявить, в какой мере сотрудники готовы по собственной инициативе прилагать усилия для выполнения корпоративных задач, насколько совпадают интересы компании и работников. Оно позволит выявить основные проблемы, влияющие на вовлеченность и лояльность сотрудников организации, и предложить мероприятия по их повышению этих показателей. Среди мероприятий можно выделить:

- Формирование/совершенствование комплексной процедуры подбора, найма и адаптации человеческого ресурса.
- Совершенствование системы мотивации сотрудников.
- Обеспечение прозрачности системы оплаты труда и распределения бонусов.
- Организация стратегических сессий для топ-менеджеров.
- Проведение командообразующих тренингов и выездных мероприятий с целью улучшения социально-психологического климата в коллективе.
- Совершенствование системы формирования кадрового резерва.
- Снижение вероятности возникновения угроз корпоративной культуре и конфликтов в коллективе в случае увольнения работника.
- Создание условий для обмена информацией о внутренних процессах, поддержания обратной связи и повышения внимания со стороны руководства к инициативе работников.

С целью оценки динамики индекса вовлеченности и эффективности нововведений в компании необходимо проводить такое исследование ежегодно.

Данные рекомендации дают возможность оперативного и своевременного внесения изменений в кадровую политику авиационных предприятий, что позволит свести к минимуму вероятность возникновения угроз корпоративной безопасности, снизить количество конфликтов в коллективе и, как следствие, повысить вовлеченность, лояльность персонала и эффективность деятельности предприятий в целом.

Литература:

1. Тихонов А.И. Основные факторы удержания сотрудников в российских компаниях // Московский экономический журнал. 2020. № 7. С. 28.
2. Просвирина Н.В. Кадровая политика организации как инструмент управления человеческими ресурсами // Московский экономический журнал. 2019. № 12. С. 78.

Increasing the level of involvement and loyalty of employees of aviation enterprises

Prosvirina N.V.

MAI, Moscow, Russia

Today, the most important resource and guarantee of the successful functioning of any aviation enterprise is its staff. Studies show that the more similar are the interests of the employer and the

employee, the higher the satisfaction and the indicators of employee loyalty and involvement in work.

During the study, the level of loyalty and involvement of staff at the enterprises of the aviation industry was analyzed. The study was conducted with the aim of identifying the extent to which employees are willing to make efforts on their own initiative to perform corporate tasks and to what extent the interests of the company and employees coincide. It will identify the main problems affecting the involvement and loyalty of employees in the organization and propose measures to improve these indicators. Among the activities there are:

- Formation/improvement of a comprehensive procedure for the selection, recruitment and adaptation of human resources.
- Improvement of the employee motivation system.
- Ensuring transparency of the system of remuneration and distribution of bonuses.
- Organization of strategic sessions for top managers.
- Conducting team-building trainings and field events to improve the social and psychological climate in the team.
- Improvement of the staff reserve formation system.
- Reducing the likelihood of threats to corporate culture and conflicts in the team in case of dismissal of employee.
- Creating conditions for the exchange of information about internal processes, maintaining feedback and increasing management's attention to the initiative of employees.

In order to assess the dynamics of the engagement index and the effectiveness of innovations in the company, such a study should be carried out annually.

These recommendations make it possible to promptly and timely make changes to the staff policy of aviation enterprises, which will minimize the likelihood of threats to corporate security, reduce the number of conflicts in the team and, as a result, increase the involvement, loyalty of staff and efficiency of enterprises in general.

References:

1. Tikhonov A.I. Key factors in employee retention in Russian companies // Moscow Economic Journal. 2020. № 7. P. 28.
2. Prosvirina N.V. Staff policy of the organization as a human resource management tool // Moscow Economic Journal. 2019. № 12. P. 78.

Перспективы энергосбережения при эксплуатации гражданской авиационной техники

Пушкарева М.Б., Пушкарев М.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

Основные направления энергопотребления в области гражданской авиации касаются не только воздушных судов, но и комплекса аэропорта. Энергия требуется объектам гражданской авиации на всех этапах жизненного цикла. Основной объем потребления приходится на этап эксплуатации. Авиационное топливо, используемое для гражданской авиационной техники дает достаточно большой объем выбросов диоксида углерода. Одной из задач энергосбережения в этом случае является внедрение новых энергоэффективных технологий, в том числе, с использованием возобновляемых источников энергии. Также значение будут иметь более эффективные топливные технологии, изменение маршрутов движения воздушных судов по всему циклу, усовершенствованное использование системы CNS/ATM.

Обычное авиационное топливо может расходоваться в более экономичном режиме за счет конверсии устройства заправочных комплексов. Здесь также уместно использовать возобновляемые источники энергии. Еще одним вариантом энергосбережения является использование возобновляемых источников в рулежном оборудовании.

При нахождении на территории аэропорта при доулинии авиационная техника вполне может использовать вспомогательный энергоблок, находящийся в хвостовой части самолета. Поскольку время разворота самолета может составлять от 1 до 3 часов, стоит отнестись к

энергосбережению в этот период внимательнее. Многие мировые аэропорты сейчас модернизируют свои выходы на посадку, используя силовые преобразователи с частотой 400 Гц и системы охлаждения воздуха, которые позволяют самолету совершать маневрирование в выключенным двигателем и получить электрическую и тепловую энергию непосредственно от терминала аэропорта.

Есть и другие виды использования энергии, связанные с территорией аэропорта, которые приводят к значительным выбросам CO₂. К ним относятся значительное количество энергии для освещения в пределах здания аэропорта, отопление, охлаждение, а также энергозатраты на использование информационных технологий. Обследование аэропортов в США показали, что затраты энергоресурсы являются вторыми по объему после затрат на персонал. Использование энергии, связанное с территорией аэропорта, также включает топливо, необходимое для питания наземного вспомогательного оборудования (GSE). Внешний контур авиационных терминалов также открывает большие возможности для использования возобновляемых энергетических ресурсов.

Prospects for energy saving in the civil aviation equipment operation

Pushkareva M.B., Pushkarev M.D.

MAI, Moscow, Russia

The main areas of energy consumption in the field of civil aviation concern not only aircraft, but also the airport complex. Energy is required for civil aviation facilities at all stages of the life cycle. The bulk of consumption is during the operation phase. Aviation fuel used for civil aviation technology produces a fairly large amount of carbon dioxide emissions. One of the tasks of energy saving in this case is the introduction of new energy-efficient technologies, including using renewable energy sources. Also important will be more efficient fuel technologies, changing the routes of aircraft throughout the cycle, improved usage of the CNS/ATM system.

Conventional aviation fuel can be consumed in a more economical mode by converting the filling system device. Renewable energy is also appropriate. Another energy saving option is the use of renewable sources in taxiing equipment.

When located at the airport during drilling, aviation equipment may well use an auxiliary power unit located in the tail of the aircraft. Since the aircraft turn time can be from 1 to 3 hours, it is worth taking energy saving more carefully during this period. Many world airports are now

upgrading their gates using 400 Hz power converters and air cooling systems that allow the aircraft to maneuver in an off engine and get electric and thermal power directly from the airport terminal.

There are other uses of energy associated with the airport territory that lead to significant CO₂ emissions. These include a significant amount of energy for lighting within the airport building, heating, cooling, as well as energy costs for the use of information technologies. A survey of airports in the United States showed that energy costs are second in volume after personnel costs. The use of energy associated with the airport territory also includes the fuel required to supply ground support equipment (GSE). The outer circuit of aviation terminals also offers great opportunities for the use of renewable energy resources.

Механизм управления проектами для создания качественного продукта в авиационной и космической деятельности

Пчелинцева В.Д., Борисова Е.В., Фаустов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Методики и инструменты по управлению проектами развивались на протяжении многих столетий, поэтому сейчас для того, чтобы выпустить качественный инновационный продукт или реализовать улучшенное конкурентоспособное изделие необходимо уметь эффективно управлять его созданием.

Для сложных проектов в авиационной и космической сфере руководителям необходимо выстроить гибкую, фазную и эффективную систему управления процессом, так как заказчик является главной отправной точкой, его требования и запросы должны учитываться на

каждом шаге разработки, тогда результатом проекта будет качественное, отвечающее всем требованиям изделие.

Технология СКРАМ является революционным методом, который в основном используется в IT при создании программных продуктов, однако внедрение такого инструмента позволит определить приоритеты и разделить процесс на управляемые итерации (спринты) по завершении которых заказчик может получить рабочую версию продукта и по желанию изменить или установить новые требования для следующего этапа. Данная технология предполагает, что Заказчик является владельцем проекта и непосредственно коммуницирует со всей командой и «видит» протекание процесса.

Каждый спринт команда тщательно продумывает, определяет ответственных и делит установленные требования на задачи, которые нужно выполнить для успешного результата. Помимо этого, в течении всего спринта команда проводит 15 минутные скрам-встречи, для обмена информацией о состоянии проекта, а по завершению итерации подводятся итоги и обсуждаются возникшие проблемы. Методология СКРАМ использует механизмы бережливого производства и применяет инструмент КАНБАН для того, чтобы можно было проследить на какой стадии находится та или иная задача, определить загруженность участников команды и эффективность их деятельности.

Преимущество данной методики в первую очередь – это адаптивность, качество и совершенствование на протяжении всего проекта. В авиационной и космической сфере данная технология позволит не только полностью удовлетворить запросы потребителя, но и обеспечить необходимый уровень безопасности и качества продукта за счет гибких, управляемых условий, которые дают возможность легко и быстро минимизировать или устранить возникающие риски.

Project management mechanism for creating a quality product in aviation and space activities

Pchelintseva V.D., Borisova E.V., Fayustov A.A.
MAI, Moscow, Russia

Project management techniques and tools have evolved over many centuries, so now in order to produce a high-quality innovative product or implement an improved competitive product, you need to be able to effectively manage its creation.

For complex projects in the aviation and space sector, managers need to build a flexible, phased and effective process management system, since the customer is the main starting point, his requirements and requests must be taken into account at every step of development, then the project result will be a high-quality product that meets all requirements.

SCRUM technology is a revolutionary method that is mainly used in IT when creating software products, but the introduction of such a tool will allow you to determine priorities and divide the process into managed iterations (sprints) at the end of which the customer can get a working version of the product and optionally change or set new requirements for the next stage. This technology assumes that the Customer is the owner of the project and directly communicates with the entire team and "sees" the process.

Each sprint is carefully thought out by the team, which determines who is responsible and divides the set requirements into tasks that need to be completed for a successful result. In addition, during the entire sprint, the team holds 15-minute scrum meetings to exchange information about the project status, and at the end of the iteration, the results are summed up and problems are discussed. The SCRUM methodology uses lean production mechanisms and uses the KANBAN tool to track what stage a particular task is at, determine the workload of team members and the effectiveness of their activities.

The main advantage of this method is its adaptability, quality, and improvement throughout the project. In the aviation and space sector, this technology will not only fully meet the needs of the consumer, but also provide the necessary level of product safety and quality due to flexible, manageable conditions that make it possible to easily and quickly minimize or eliminate emerging risks.

Интегрированный подход как один из путей повышения эффективности обучения иностранным языкам в Московском авиационном институте

Рогожина Л.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Изучение другого языка открывает доступ к другим системам ценностей и способам интерпретации мира, способствует межкультурному взаимопониманию. Двуязычное и многоязычное образование подразумевает использование двух или более языков в качестве средств обучения. В то же время, успешное освоение одного и более языков и применение одного языка в процессе обучения другому во многом зависит от преобладающей концепции языка и парадигм преподавания языка, а также от роли, которая отводится изучаемому языку.

Язык обучения является средством общения для передачи знаний. С другой стороны, преподавание языка направлено в первую очередь на личностное развитие студента, его коммуникативную и психологическую адаптацию к другой культуре и другому языку, и только затем на формирование практических навыков общения и использование языка в профессиональных целях.

Изучение одного из двух этих языков, как второго иностранного, может проходить легче в плане освоения лексики, опираясь на уже полученные знания и используя сравнительно-аналитический метод. Результаты исследования показывают, что знания одного иностранного языка способствует более быстрому освоению другого иностранного языка. Результаты данного исследовательского проекта дают возможность популяризировать билингвальное (т.е. двуязычное) обучение.

Продолжением данной работы может служить сравнительный анализ грамматических категорий, двух этих неродственных языков, что также поможет в изучении иностранных языков.

Данное исследование может считаться попыткой найти способы, с помощью которых английский и другие языки могут работать как дополняющие друг друга, а не как конкурирующие системы.

Проблема многоязычия рассматривается в настоящее время не только в контексте раннего изучения иностранных языков, но и в более широкой перспективе сохранения многокультурного образовательного пространства, обеспечения академической мобильности студентов. Усилия по переходу на двухступенчатую модель обучения могут представлять практический интерес в этом отношении. Возможность посещать курсы, заниматься научной деятельностью в университетах Европы и мира, которые сегодня более чем когда-либо открыты для сотрудничества и партнёрства, является реальным преимуществом студента, которое не будет ему доступно, если он не владеет иностранными языками.

Integrated approach as one of the ways to improve the effectiveness of foreign language teaching at Moscow Aviation Institute

Rogozhina L.A.

MAI, Moscow, Russia

The study examines the impact of a multilingual literacy approach as it has been applied in the teaching of French and English in the Russian system of higher education.

Learning another language opens up access to other value systems and ways of interpreting the world, encouraging inter-cultural understanding and helping reduce xenophobia. Bilingual and multilingual education refers to the use of two or more languages as mediums of instruction. The language of instruction in school is the medium of communication for the transmission of knowledge. The way languages are taught is constantly changing. Much depends on the prevailing concept of language and language teaching paradigms, as well as on the role that is assigned to the language that is taught.

Speaking multiple languages may be an advantage in more ways than one: a new study suggests that bilinguals are speedier task-switchers than monolinguals. Task-switching—the ability to

mentally refocus on new goals or to shift attention one type of activity to another — is a valuable skill that has numerous practical uses.

Governments throughout the world are trying to find ways in which English and other languages can work as complementary to each other, rather than in competition.

The problem of multilingualism is considered in Europe not only in the context of early learning of foreign languages, but also in the broader perspective of preserving a multicultural educational space, ensuring academic mobility of students. The opportunity to attend courses at European universities, to write a thesis in the system of international tutoring, is a student's real benefit. Many European universities today are more than ever open for cooperation and partnerships. Based on these considerations, it would be useful to think about increasing the proportion of language training of students of non-philological specialties.

Intercultural dialogue as a critical component of modern society should contribute to the self-identification of a person in the cultural space. This research aims to demonstrate the importance of multiculturalism – learning a second (third etc.) language(s) in the Russian system of higher education.

Knowledge of one foreign language helps to more quickly learn another foreign language. The results confirm that it is easier to learn a second foreign language based on knowledge of the first foreign language.

Авиация и космонавтика: интеграция науки и образования

Рыбакова Л.В., Шаройко Е.А., Хоткина Е.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Переоценка целей и задач профессионально-ориентированного языкового обучения в России обусловила необходимость реформирования его методики: интегрирования науки и образования в подготовке кадров в области авиации и космонавтики. Учитывая появление новых языковых курсов, направлений, распространения в использовании иностранных языков во всех сферах деятельности социума и экономики, важно включить аспект специфики электронных систем обучения в основу содержания обучения в аэрокосмических вузах. В условиях вирусной пандемии, вынужденной самоизоляции студентов, преподаватели Московского авиационного института при обучении английскому языку использовали новые методы компетентностного подхода, что определяет актуальность данной темы.

Цель исследования - определить педагогические условия эффективности обучения профессионально-ориентированному английскому языку в авиакосмических институтах (на примере Московского авиационного института). Объект исследования – процесс дистанционного обучения студентов как один из аспектов целостного учебно-воспитательного процесса. Предмет исследования – педагогические условия эффективности обучения профессионально-ориентированному языку в авиационных вузах. Гипотеза исследования: эффективность дистанционного процесса обучения значительно повысится, если интегрировать научно-практические достижения в области информатики, создав модель системы обучения студентов на основе синтеза науки и культуры. В соответствии с поставленной целью и определены основные задачи: проанализировав труды педагогов, определить возможные организации студентов для самостоятельной и командной деятельности; дать технико-экономическое обоснование целесообразности создания системы Microsoft Teams для Windows. Новизна исследования заключается в создании и апробировании модели системы Microsoft Teams для Windows путем синтеза науки и дистанционного образования при обучении профессионально-ориентированному английскому языку аэрокосмической направленности.

Результаты. В исследовании в рефлексивно-оценочном периоде анализировались итоги самостоятельной работы студентов лексико-грамматических компетенций каждого занятия всех 5 групп 1 курса. Были сделаны выводы, что, работая в on-line системы Microsoft Teams пользователь имеет широкие возможности: преподаватель-плодотворно проводить

исследования и обучение; студент-приобретать знания, умения и навыки в комфортной обстановке, что дало положительную динамику качества знаний.

Aviation and Astronautics: Integration of Science and Education

Rybakova L.V., Sharoiko E.A., Khotkina E.S.

MAI, Moscow, Russia

The reassessment of the goals and objectives of vocationally oriented language education in Russia necessitated reforming its methodology: integrating science and education in training personnel in the field of aviation and astronautics. Given the emergence of new language courses, directions, the spread of the use of foreign languages in all spheres of society and the economy, it is important to include the aspect of the specifics of e-learning systems in the basis of the content of education in aerospace universities. In the context of a viral pandemic, forced self-isolation of students, teachers of the Moscow Aviation Institute used new methods of the competence-based approach when teaching English, which determines the relevance of this topic. Research and development work was carried out on Microsoft Teams for Windows. It is important that one of the tools of the network space is communication: teams with teams, dialogical, monologic, individual. It is possible to upload and send files, video and audio fragments. There is also a "board", a "notebook", an activity icon, registering the speaker, encouragement. It is possible to organize students for team-joint and individual activities (educational, scientific, leisure), as well as tutors and "owners" of the created groups to ensure organizational activities (professional, educational, scientific, educational). The system is accessible and comfortable for everyone, including foreign and nonresident citizens, since the presence of the mobile version of Microsoft Teams transforms a familiar smartphone or tablet into a workplace with the necessary functions: document editing, calls (individual and during meetings), distribution and receiving screenshots from the screen of a smartphone or tablet, working with mail, conducting tests and on-line exams with broadcast recording. Undoubtedly, the approach of Artyushina G.G. and Sheipak O.A. the use of mobile phones as a tool to get the right information outside the audience is effective and proven. In addition, Neverova N.V., Rybakova L.V., Ereemenkova N.A. and others for a professionally-oriented foreign language in the aviation industry there are two interrelated components: software and pedagogical. Thus, working in the on-line Microsoft Teams system, the user has ample opportunities

Иновационный подход в преподавании авиационного английского языка посредством дистанционного обучения

Рябкова Г.В., Кузнецова А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В мировой практике прослеживается тенденция изменения традиционных форм образовательного процесса в сторону его большей информатизации. Московский авиационный институт акцентирует внимание на электронное обучение с целью обеспечения конкурентоспособности национального исследовательского института на рынке образовательных услуг, а также для создания благоприятных условий для продвижения университета в мировых рейтингах.

Владение авиационным английским языком является основной компетенцией в глобальной профессии пилотов и авиадиспетчеров. Однако необходимо модернизировать современные неэффективные бумажные методы оценки и восполнять серьезное отсутствие интерактивного онлайн-тестирования для профессии, которую следует оценивать в аутентичной обстановке (Alderson, 2010; Douglas, 2013). В настоящее время тестам не хватает достоверности и аутентичности и они не могут определить, насколько глубоки знания авиационного английского языка и, следовательно, неизбежно не могут предсказать, как экзаменуемые на самом деле выступят в ситуациях с использованием целевого языка (Douglas, 2000).

При выполнении виртуальных интерактивных заданий, специально подготовленных преподавателями английского языка, для оценки авиационного английского языка используются различные когнитивные, метакогнитивные и коммуникативные стратегии,

которые неукоснительно приводят к формированию когнитивных и метакогнитивных навыков, приводящих к положительным результатам тестов. Полученные данные свидетельствуют о том, что инновационный подход в преподавании авиационного английского языка посредством дистанционного обучения работает, а использование смоделированных задач в виртуальном мире предоставляет изучающим язык более аутентичные возможности для выполнения целевых задач и развития стратегической и языковой компетенции.

Innovative approach in teaching aviation English via distance learning

Ryabkova G.V., Kuznetsova A.V.

MAI, Moscow, Russia

In world practice, there is a tendency to change the traditional forms of the educational process towards its greater informatization. The Moscow Aviation Institute focuses on e-learning in order to ensure the competitiveness of the national research institute in the educational services market, as well as to create favorable conditions for the university's promotion in world rankings.

Aviation English is a core competency in the global profession of pilots and air traffic controllers. However, there is a need to modernize the current ineffective paper-based assessment methods and make up for the serious lack of interactive online testing for a profession that should be assessed in an authentic setting (Alderson 2010; Douglas 2013). Tests currently lack credibility and authenticity and cannot determine how proficient Aviation English is and therefore inevitably cannot predict how test takers will actually perform in target language situations (Douglas, 2000).

When performing virtual interactive tasks, specially prepared by English teachers, various cognitive, metacognitive and communication strategies are used to assess aviation English, which rigorously lead to the formation of cognitive and metacognitive skills that lead to positive test results. The findings suggest that the use of simulated tasks in the virtual world in distance learning can provide language learners with more authentic opportunities to accomplish target tasks and develop strategic and linguistic competence.

Управление кооперацией - обеспечение выполнения заданий государственного заказа

Савкин Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В условиях современной рыночной конъюнктуры кооперационные связи представляют собой взаимовыгодные отношения разработчиков (производителей) конечной продукции (потребителей) и поставщиков работ и услуг, производителей материалов и комплектующих, основанных на договорных отношениях, для создания и производства конкретного продукта и его продвижения на рынках сбыта. Особенностью кооперирования современного периода является его добровольная организация самими хозяйствующими субъектами. Кооперационные цепочки выступают одним из ключевых связующих звеньев заданной государством стратегии национальных проектов.

Задача ускорения научно-технологического развития промышленного комплекса страны в настоящее время поставлена на высшем государственном уровне. Решение этой задачи, в том числе обеспечивается развитием внутрироссийской и международной научно-производственной кооперации. В рамках национального проекта «Наука» реализуется федеральный проект «Развитие научной и научно-производственной кооперации».

Система взаимосвязанных договорными обязательствами организаций, занимающихся поставками продукции, выполнением работ и оказанием услуг представляет собой многоуровневую кооперацию организаций разработчиков, производителей и поставщиков, работу которой координирует головной исполнитель государственного контракта.

Процесс формирования кооперации организаций разработчиков и производителей специальной техники законодательно определен. Головные исполнители при подготовке к выполнению и в ходе исполнения госконтрактов совместно с соисполнителями руководствуются требованиями действующего законодательства, в т.ч. 275-ФЗ от 29.12.2012 и 223-ФЗ от 18.07.2011.

Головной исполнитель определяет состав кооперации, организует её ритмичную работу, оказывает управляющие воздействия и контролирует ход выполнения работ по государственному контракту.

Для всех исполнителей государственного заказа, а в первую очередь, для головных организаций-исполнителей, сохраняется необходимость совершенствования нормативно-правовой базы в части регламентации привлечения кооперации при выполнении государственного заказа, сроков предоставления РКМ участниками предполагаемой кооперации, установления обязательности включения условий, транслированных из государственного контракта, в договоры с исполнителями.

Cooperation management as ensuring the fulfillment of state order tasks

Savkin N.V.

MAI, Moscow, Russia

In today's market environment, cooperative relationships are mutually beneficial relationships between developers (manufacturers) of final products (consumers) and suppliers of works and services, manufacturers of materials and components based on contractual relationships, for the creation and production of a specific product and its promotion in sales markets. A special feature of cooperation in the modern period is its voluntary organization by the economic entities themselves. Cooperative chains are one of the key links in the state-defined strategy of national projects.

The task of accelerating the scientific and technological development of the country's industrial complex is currently set at the highest state level. The solution to this problem is also provided by the development of domestic and international scientific and production cooperation. Within the framework of the national project "Science", the Federal project "Development of scientific and production cooperation" is being implemented.

The system of organizations connected by contractual obligations that supply products, perform works, and provide services is a multi-level cooperation of organizations of developers, manufacturers, and suppliers, whose work is coordinated by the main contractor of the state contract.

Law defines the process of forming cooperation between organizations of developers and manufacturers of special equipment. When preparing for the execution and during the execution of state contracts, head performers together with co-executors are guided by the requirements of the current legislation, including federal law № 275-FZ of 29.12.2012 and № 223-FZ of 18.07.2011.

The head executor determines the composition of the cooperative, organizes its rhythmic work, exerts control actions and controls the progress of work under the state contract.

For all executors of the state order, but first and foremost, the head of the implementing organisations, there remains a need to improve the regulatory base in part of regulation of attraction of cooperation in the implementation of the state order, the terms of settlement-calculation materials participants of the intended cooperation, establishing the mandatory inclusion of terms translated from state contract agreements with performers.

Формирование и развитие команды на предприятиях ракетно-космической отрасли

Семина А.П., Назаренко А.Б., Коновалова О.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Ракетно-космическая отрасль как одна из высокотехнологичных отраслей имеет свою специфику. Эту специфику необходимо учитывать и при формировании и развитии команд. Необходимость создания команды возникает с момента начала деятельности любой организации, в том числе и организации ракетно-космической отрасли. Командная работа приводит не только к повышению производительности труда каждого отдельного сотрудника, но и всего предприятия в целом. Это является результатом того, что в процессе командной работы практикуются как профессиональные, так и личностные качества каждого члена команды.

Команда – это управляемо развивающаяся малая группа, объединенная общими мотивами, интересами и целями, которая проходит определенные этапы и постоянно совершенствуется для эффективного решения командных задач.

Ракетно-космическая отрасль – сложная, наукоемкая отрасль, соответственно, состав группы может существенно различаться, поэтому руководителю необходимо находить индивидуальный подход к каждому. В дальнейшем это поспособствует максимально эффективному достижению целей.

Пять этапов в развитии команд:

1. Формирование.
2. Бурление.
3. Нормирование.
4. Функционирование.
5. Расставание.

Три основных фактора эффективной работы команды на предприятиях ракетно-космической отрасли:

1. Удовлетворение индивидуальных потребностей членов команды.
2. Успешное взаимодействие в команде.
3. Решение поставленных задач.

Четыре основополагающих методики управления и построения команд ракетно-космической отрасли:

1. На основе эмоциональной сплоченности.
2. Ролевой подход.
3. Проблемно-ориентированный подход.
4. Динамический подход.

Таким образом, процессы, происходящие в ракетно-космической отрасли, имеют характерные отличия от других отраслей, поэтому создание команды на предприятиях ракетно-космической отрасли – это тяжелый труд, требующий хорошего и высокого опыта в сфере управления, ведь для достижения успеха предприятия, необходимо формирование квалифицированной команды.

Литература:

1. Семина А.П. Команда как групповая форма организации труда // Вестник алтайской академии экономики и права. - 2019. - №12. - с. 128-133.
2. Федотова М.А. Развитие организационного и социально-экономического механизмов управления командной работой в интеллектуальных организациях // Московский экономический журнал. - 2019. - №1. - С. 33.
3. Федотова М.А., Семина А.П. Обзор практики компаний в работе с командами // Экономика, предпринимательство и право. - 2020. - №2. - С. 365-376.

The formation and development of the team Semina A.P., Nazarenko A.B., Konovalova O.V.

MAI, Moscow, Russia

The rocket and space industry as one of the high-tech industries has its own specifics. This specificity must also be taken into account when forming and developing teams. The need to create a team arises from the beginning of any organization, including organizations in the rocket and space industry. Teamwork leads not only to an increase in the productivity of each individual employee, but also of the entire enterprise as a whole. This is the result of the fact that in the process of teamwork, both professional and personal qualities of each team member are practiced.

A team is a manageably developing small group United by common motives, interests, and goals that goes through certain stages and is constantly being improved to effectively solve team tasks.

The rocket and space industry is a complex, knowledge-intensive industry, so the group composition may vary significantly, so the Manager needs to find an individual approach to each of them. In the future, this will help you achieve your goals as effectively as possible.

The five stages in the development teams:

1. The formation.
2. Swirling.
3. Standardization.
4. Functioning.
5. Parting.

Three main factors of effective team work at the enterprises of the rocket and space industry:

1. Meeting the individual needs of team members.
2. Successful interaction in the team.
3. Solving tasks.

Four fundamental methods for managing and building teams in the rocket and space industry:

1. Based on emotional cohesion.
2. Role-based approach.
3. Problem-oriented approach.
4. Dynamic approach.

Thus, the processes taking place in the rocket and space industry have characteristic differences from other industries, so creating a team at the enterprises of the rocket and space industry is hard work that requires good and high experience in management, because to achieve the success of the enterprise, it is necessary to form a qualified team.

References:

1. Semina A.P. Team as a group form of labor organization // Bulletin of the Altai Academy of Economics and law. - 2019. - No. 12. - pp. 128-133.
2. Fedotova M.A. development of organizational and socio-economic mechanisms for managing team work in intellectual organizations // Moscow economic journal. - 2019. - no. 1. - P.33.
3. Fedotova M.A., Semina A. P. Review of companies ' practice in working with teams // Economics, entrepreneurship and law. - 2020. - no. 2. - Pp. 365-376.

Современные тенденции изменения в сфере труда

Смирнова Т.С., Михайлов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В связи со сложной эпидемиологической ситуацией, перед hr-менеджерами встает необходимость оценки её влияния в долгосрочной перспективе на стратегические цели и задачи.

Многие организации отреагировали на негативные экономические условия сокращением сотрудников или их сохранением, но с ухудшением материального положения за счет сокращения оплаты труда. В то же время объём выполняемых работ сохраняется, а в некоторых ситуациях – увеличивается. Также наблюдается тенденция применения временных работников, что позволяет поддерживать гибкость управления персоналом.

Часть сотрудников организаций были переведены на удалённую работу, и такая ситуация будет еще продолжаться длительное время. В связи с этим, возникает необходимость контроля за своими сотрудниками. Как правило происходит наблюдение активности работников с помощью мониторинга присутствия или отсутствия на определенных информационных платформах. Руководство продолжает отслеживать такой показатель здоровья, как температура тела, причем, это касается не только сотрудников, присутствующих на своих рабочих местах, но и тех, кто переведен на удаленную работу. Важно также контролировать и психическое состояние здоровья, которое отражается на вовлеченности сотрудников в работу и их стрессоустойчивости в данной обстановке.

Руководителям организации необходимо вырабатывать подход к сотрудникам, учитывая их личностные особенности, а также устранить неравенства между теми, кто работает удаленно и теми, кто находится на своих рабочих местах. Сотрудникам необходимо предоставить возможность осваивать другие функции для поддержания гибкости в управлении.

Гибкий подход в управлении позволяет организации быть более устойчивой в непростой социально-экономической ситуации.

Литература:

1. Михайлов А.А., Кузьминский А.Е., Смирнова Т.С. Проблема профессионального стресса работников промышленных предприятий // Московский экономический журнал № 8, 2019

2. Краев В.М., Тихонов А.И. Пути повышения конкурентоустойчивости предприятий авиационного двигателестроения // Монография. Ставрополь: ЛОГОС-2019. 202 с

Modern trends in the world of work

Smirnova T.S., Mikhaylov A.A.

MAI, Moscow, Russia

Due to the difficult epidemiological situation, HR-managers are faced with the need to assess its impact in the long term on strategic goals and objectives.

Many organizations have responded to the negative economic environment by reducing or retaining staff, but with a worsening material situation through lower wages. At the same time, the volume of work performed remains, and in some situations it increases. There is also a trend towards the use of temporary workers, which allows maintaining flexibility in personnel management.

Some of the employees of the organizations were transferred to remote work, and this situation will continue for a long time. In this regard, there is a need to control their employees. As a rule, the activity of employees is monitored by monitoring the presence or absence of certain information platforms. The management continues to monitor such an indicator of health as body temperature, moreover, this applies not only to employees present at their workplaces, but also to those who are transferred to remote work. It is also important to control the mental state of health, which affects the involvement of employees in work and their stress resistance in a given environment.

Leaders of the organization need to develop an approach to employees, taking into account their personal characteristics, and also to eliminate inequalities between those who work remotely and those who are in their workplaces. Employees need to be given the opportunity to learn other functions to maintain flexibility in management.

A flexible management approach allows an organization to be more resilient in a difficult socio-economic situation.

References:

1. Mikhailov A.A., Kuzminsky A.E., Smirnova T.S. The problem of professional stress of workers in industrial enterprises // Moscow Economic Journal No. 8, 2019

2. Kraev V.M., Tikhonov A.I. Ways to increase the competitiveness of aircraft engine manufacturing enterprises // Monograph-Stavropol: LOGOS-2019. – 202 p.

Решение методологического блока задач трансформации финансовой отчетности по МСФО

Суркова Е.В., Скачко Г.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Вопрос принятия решения применения Международных стандартов финансовой отчетности (МСФО) становится наиболее актуальным перед большинством российских компаний. МСФО стали частью нормативного регулирования финансовой отчетности. Несмотря на продолжающуюся конвергенцию между российскими и международными стандартами, в настоящее время все еще сохраняется большой разрыв в принципах ведения учета и подготовки отчетности.

Существующая система принципов формирования отечественной финансовой отчетности не поддерживает должным образом надежности формируемых в ней показателей, снижая при этом потенциал полезного использования полученной информации. Принципы международного учета направлены на формирование отчетности, используемой широким кругом пользователей. Данная отчетность способна удовлетворить потребности всех пользователей, в то время как отчетность российского учета направлена скорее на удовлетворение потребностей фискальных органов.

Авторами на основе исследованных подходов к организации международного учета на российских предприятиях были выявлены особенности каждого из подходов, представлены достоинства и недостатки. Анализ методов, с помощью которых может происходить процесс формирования отчетности в соответствии с принципами МСФО способствовал разработке методики выбора оптимального метода трансформации с учетом индивидуальных потребностей организаций.

В целях необходимости представления сопоставимой на международном уровне бухгалтерской информации и применения МСФО [1] авторами были разработаны процедуры перехода российской Группы компаний на формирование консолидированной международной отчетности.

Результатами данного исследования явились: процесс внедрения этапов методологического блока задач перехода к подготовке финансовой отчетности, построенной на основании принципов международного учета; анализ систем, в которых дочерние общества Группы компаний ведут российский учет; обоснование выбора программного обеспечения, с помощью которого в дальнейшем будет осуществляться составление индивидуальной и консолидированных форм отчетностей.

Таким образом, успешное внедрение международных стандартов в организации зависит не столько от последовательного выполнения всех этапов процедур перехода на формирование отчетности по МСФО, сколько от грамотно настроенных цепочек процессов.

Solution of the methodological block of tasks for transforming financial statements in accordance with IFRS

Surkova E. V., Skachko G. A.
MAI, Moscow, Russia

The issue of making a decision on the application of International Financial Reporting Standards (IFRS) is becoming the most urgent for most Russian companies. IFRS have become part of the financial reporting regulation. Despite the ongoing convergence between Russian and international standards, there is still a wide gap in accounting and reporting principles.

The existing system of principles for the formation of domestic financial statements does not properly support the reliability of the indicators formed in it, while reducing the potential of using the information obtained. The principles of international accounting aim at generating reports that are used by a wide range of users. This reporting is able to satisfy the needs of all users, while the reporting of the Russian accounting aim rather at meeting the needs of the fiscal authorities.

Based on the investigated approaches to the organization of international accounting at Russian enterprises, the authors identified the features of each of the approaches, presented the advantages and disadvantages. Analysis of the methods by which the reporting process can take place in accordance with the principles of IFRS contributed to the development of a methodology for choosing the optimal transformation method, taking into account the individual needs of organizations.

In order to present internationally comparable accounting information and apply IFRS [1], the authors have developed procedures for the transition of the Russian Group of Companies to the formation of consolidated international reporting.

The results of this study were: the process of implementing the stages of the methodological block of tasks for the transition to the preparation of financial statements based on the principles of international accounting; analysis of the systems in which the subsidiaries of the Group of Companies maintain Russian accounting; justification for the choice of software, with the help of which in the future the preparation of individual and consolidated reporting forms will be carried out.

Thus, the successful implementation of international standards in an organization depends not so much on the consistent implementation of all stages of the procedures for the transition to the formation of financial statements in accordance with IFRS, but on well-tuned process chains.

Особенности PR-продвижения авиаальянса «SkyTeam»

Тараненко А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Функции связей с общественностью в деятельности авиационных корпораций сводятся к налаживанию отношений с авиационными и основными средствами массовой коммуникации, организации интервью со СМИ, рекламе новых маршрутов авиакомпаний и сервисов, а также проведению рекламных и PR-кампаний для авиакомпаний, запускающих новые сервисы.

Авиационный альянс «SkyTeam» – самый «молодой» из трёх существующих объединений авиационных компаний. Он был создан в 2000 г. В него входят 20 авиакомпаний, в том числе и российская ПАО «Аэрофлот».

К ключевым особенностям PR-продвижения услуг авиаальянса «SkyTeam» относятся следующие:

1) Единый бренд. Главной особенностью продвижения услуг авиационного альянса «SkyTeam» на мировой рынок является олицетворение единого бренда всего авиационного объединения вместе с индивидуальным брендом определённой авиакомпании-участницы. Единство авиационных компаний-участниц альянса прослеживается и в самом лозунге «SkyTeam»: «С заботой о Вас».

2) Специальные программы. Программа «SkyTeam's Round the World» – продвижение особых тарифов для пассажиров, планирующих поездки по всему миру.

3) Льготы для пассажиров. «SkyTeam» имеет два уровня премиум-класса «Elite» и «Elite Plus», основанных на статусе уровня клиента в программе часто летающих пассажиров. Каждая из авиакомпаний-участниц авиаальянса и ассоциированных авиакомпаний признаёт элитные статусы в качестве определённых льгот.

4) Официальные аккаунты авиакомпаний-участниц в социальных сетях. Авиакомпания-участницы авиаальянса «SkyTeam» имеют собственные официальные аккаунты в таких социальных сетях, как «ВКонтакте», «Twitter», «Facebook», «Instagram», «YouTube». Так, Российская авиакомпания ПАО «Аэрофлот», входящая в «SkyTeam», в своих официальных аккаунтах в социальных сетях почти ежедневно размещает красочные фотографии, информирующие клиентов о тех или иных скидках: как обыденных, так и сезонных.

Таким образом, «SkyTeam» – молодой, но крайне перспективный, динамично развивающийся международный альянс, который на сегодняшний день успешно закрепился на мировом рынке. Успехам и победам альянса в разных направлениях деятельности активно способствует PR-продвижение выпускаемых услуг со своими особенностями.

Главной особенностью продвижения услуг авиаальянса является единство авиакомпаний-участниц «SkyTeam», представляющих более широкий спектр преимуществ и услуг посредством командной работы в одном альянсе.

PR-promotion of the SkyTeam airline Alliance

Taranenko A.V.

MAI, Moscow, Russia

Public relations functions in the activities of aviation corporations are limited to establishing relationships with aviation and mass media, organizing interviews with the media, advertising new airline routes and services, as well as conducting advertising and PR campaigns for airlines launching new services.

The SkyTeam aviation Alliance is the youngest of the three existing associations of aviation companies. It was created in 2000. It includes 20 airlines, including PJSC «Aeroflot».

The key features of PR promotion of SkyTeam airline Alliance services include the following:

1) A single brand. The main feature of promoting the services of the SkyTeam aviation Alliance to the world market is the personification of a single brand of the entire aviation Association together with the individual brand of a particular participating airline. The unity of the aviation companies participating in the Alliance can be traced in the slogan "SkyTeam": "With Care for you".

2) Special programs. SkyTeam's Round the World program - promotion of special fares for passengers planning trips around the World.

3) Benefits for passengers. SkyTeam has two premium levels – "Elite" and "Elite Plus", based on the customer level status in the frequent flyer program. Each of the airlines participating in the airline Alliance and associated airlines recognizes elite statuses as certain benefits.

4) Official accounts of participating airlines in social networks: Instagram, Vkontakte, Twitter, Facebook, YouTube. For example, the Aeroflot posts colorful photos in its official social media accounts almost daily, informing customers about certain discounts: both ordinary and seasonal.

Thus, SkyTeam is a young, but extremely promising, dynamically developing international Alliance that has successfully Gained a foothold in the global market today. The success and victories of the Alliance in various areas of activity are actively promoted by PR-promotion of the services produced with their own characteristics.

The main feature of promoting air Alliance services is the unity of SkyTeam member airlines, which represent a wider range of benefits and services through teamwork in one Alliance.

Smart City: формирование и управление энергоэффективными городами

Теплышев В.Ю., Алавердян Ю.А., Козловцев С.А., Ляпустина Н.Г., Пушкарев М.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время более половины населения мира живет в городах. Переход от преимущественно сельских к городским поселениям, по прогнозам аналитиков продолжится в течение следующих нескольких десятилетий. Такие огромные и сложные агрегации людей неизбежно становятся загрязненными и хаотичными. Города, мегаполисы, порождают проблемы новых видов. Сложности в сфере утилизации отходов жизнедеятельности людей, нехватка ресурсов, загрязнение воздуха, опасности для здоровья жителей, пробки на дорогах и неадекватные, разрушающиеся и стареющие городские инфраструктуры, являются одними из наиболее основных технических, физических и материальных проблем.

Направление Smart City стремится воплотить самые амбициозные надежды человечества, обещая использовать новейшие технологии для лучшей жизни и социальной гармонии. Но, по мнению некоторых обывателей, повсеместное появление «умных городов» приведет к условиям, в которых все жизненные процессы будут контролироваться искусственным интеллектом и автоматизированными устройствами. Необходимость развития технологий Smart City связана с тем, что традиционно при построении городской инфраструктуры, качество жизни не преобладало над урбанистическими, архитектурными или технологическими амбициями: при активной застройке не учитывались проблемы с транспортом, своевременным обеспечением энергоресурсами и переработкой отходов.

Концепция Smart City, появившаяся в зарубежной урбанистике в начале 2000-х годов, предусматривала преимущественно развитие технологий и инфраструктуры. К настоящему времени она ориентирована в большей степени на повышение вовлеченности горожан в формирование облика города, для решения глобальных проблем: изменение климата, социальное неравенство, доступность здравоохранения и образования. В России пока еще главной задачей «умного» города считают цифровизацию городской инфраструктуры.

Мировой энергетический совет (МИРЭС) объявил Россию следующим местом проведения Всемирного энергетического конгресса в 2022 году, поэтому так важно структурировать российские наработки, начать их внедрение уже сейчас.

Таковыми наработками являются "умный транспорт" и технологии smart grid, помогающие развитию энергоэффективных мегаполисов. Мировой опыт управления "умными городами" несомненно должен быть учтен при формировании российских цифровых платформ smart city.

Smart city: energy efficient megalopolises' formation and management

Teplyshev V.Y., Alaverdyan Yu.A., Koslovtshev S.A., Lyapustina N.G., Pushkarev M.D.
MAI, Moscow, Russia

Currently, more than half of the world's population lives in cities. The transition from predominantly rural to urban settlements is projected by analysts to continue over the next few

decades. Such huge and complex aggregations of people inevitably become polluted and chaotic. Cities, megapolities, create problems of new species. Difficulties in the human waste management, lack of resources, air pollution, health hazards, traffic congestion and inadequate, decaying and aging urban infrastructures are among the most basic technical, physical and material problems.

Smart City aims to realize the most ambitious hopes of mankind, promising to use the latest technologies for a better life and social harmony. But, according to some residents, the widespread appearance of "smart cities" will lead to conditions in which all life processes will be controlled by artificial intelligence and automated devices. The need to develop Smart City technologies is due to the fact that traditionally when building urban infrastructure, the quality of life did not prevail over urban, architectural or technological ambitions: active development did not take into account problems with transport, timely provision of energy resources and waste treatment.

The concept of Smart City, which appeared in foreign urbanism in the early 2000s, provided mainly for the development of technology and infrastructure. To date, it is focused more on increasing the involvement of citizens in the formation of the city, to solve global problems: climate change, social inequality, access to health care and education. In Russia, the urban infrastructure digitalization of is still considered the main task of a "smart" city.

The World Energy Council (WEC) declared Russia the next venue for the World Energy Congress in 2022, so it is so important to structure Russian developments and begin their implementation now.

Such developments are smart transport and smart grid technologies that help develop energy-efficient megacities. The global experience of managing smart cities should undoubtedly be taken into account in the formation of Russian smart city digital platforms.

Кадровый потенциал организации как важный механизм повышения конкурентоустойчивости предприятий авиационной промышленности

Тихонов А.И., Новиков А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Отечественная авиационно-космическая промышленность относится к высокотехнологичным отраслям, которые способны поставлять конкурентоспособную продукцию, как на внутренний, так и на внешний рынок. В этой связи, главная цель в настоящее время заключается в сохранении позиций крупнейшей мировой авиакосмической державы. Отечественная авиационная промышленность должны достичь 10-15 процентного уровня мирового рынка гражданской авиационной техники в 2025 г. Для повышения конкурентоспособности необходимо разрабатывать новые методы испытаний, автоматизировать процессы создания самолетов и вертолетов, совершенствовать научно-техническую документацию для регламентирования процесса создания авиационного комплекса в рамках широкого применения математических моделей. Конкурентоспособность авиационных комплексов представляет собой комплексную категорию, преимущества которой окончательно реализуются на мировом рынке высокотехнологичной продукции, но основа конкурентных преимуществ создается внутри самого производства ОАК и во всех звеньях процесса проектирования и производства. Очевидна зависимость внешних оценок конкурентоспособности товаров от применяемых технологий и системы производства, а также от уровня системы управления организацией, то есть, от способности авиационных заводов максимально удовлетворять запросы потребителей и иметь при этом высокий уровень эффективности. Возникает необходимость в совершенствовании внутренних системы самооценки конкурентоспособности предприятий ОАК и увязки ее с внешними оценками и в сравнении с другими организациями-конкурентами. Применительно к организации следует говорить о конкурентоустойчивости, как внутренней способности организации формировать и использовать возможности и компетенции для достижения устойчивого положения на рынке. С позиций конкурентоустойчивости главным результатом регулируемого взаимодействия становится формирование потенциала к конкуренции. Потенциал к конкуренции - совокупность

потенциалов ее внутренних ресурсов, способных во взаимодействии формировать новые конкурентные преимущества при создании ценностей, удовлетворяющих потребителей.

Литература:

1. Тихонов А.И. Оценка конкурентноустойчивости предприятия авиационной промышленности // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2020. № 2. С. 118-124.

2. Акимов А.А., Тихонов А.И. Цифровая трансформация: основные тенденции и влияние на систему управления персоналом предприятия // Вестник Академии знаний. 2020. № 3 (38). С. 36-43.

Human resources of the organization as an important mechanism for increasing the competitiveness of enterprises in the aviation industry

Tikhonov A.I., Novikov A.S.

MAI, Moscow, Russia

The domestic aerospace industry is one of the high-tech industries that can supply competitive products to both the domestic and foreign markets. In this regard, the main goal now is to maintain the position of the world's largest aerospace power. The domestic aviation industry should reach 10-15 percent of the global civil aviation equipment market in 2025. To increase competitiveness, it is necessary to develop new test methods, automate the processes of creating aircraft and helicopters, and improve scientific and technical documentation to regulate the process of creating an aviation complex within the framework of a wide application of mathematical models. The competitiveness of aviation complexes is a complex category, the advantages of which are finally realized on the world market of high-tech products, but the basis of competitive advantages is created within the UAC production itself and in all parts of the design and production process. The obvious dependence of external assessments of the competitiveness of goods from the applied technologies and production systems, and system-level management of the organization, that is, the ability of aircraft factories to satisfy the demands of consumers and have a high level of efficiency. There is a need to improve the internal system of self-assessment of the competitiveness of UAC enterprises and link it with external assessments and in comparison with other competing organizations. In relation to an organization, we should talk about competitiveness, as the internal ability of an organization to form and use opportunities and competencies to achieve a stable position in the market. From the point of view of competition stability, the main result of regulated interaction is the formation of competition potential. Potential for competition - a set of potentials of its internal resources that can interact to form new competitive advantages in creating values that satisfy consumers.

References:

1. Tikhonov A. I. Assessment of competitive stability of the aviation industry enterprise // RISK: Resources, Information, Supply, Competition. 2020. no. 2. Pp. 118-124.

2. Akimov A. A., Tikhonov A. I. Digital transformation: main trends and impact on the enterprise personnel Management system //

Bulletin Of the Academy of knowledge. 2020. No. 3 (38). pp. 36-43.

Управление промышленными предприятиями России в условиях кризиса

Тихонов Г.В., Калимуллина Э.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

В условиях необходимости реформирования структуры российской экономики и отрасли персональная значимость проблемы развития адаптивного управления бизнесом в условиях кризиса возрастает.

Это связано с развалом многих видов экономической деятельности, импортозамещением среди отраслей промышленности, а также необходимостью существенного прорыва в оборонно-промышленном комплексе.

Нестабильность внешней среды с высоким уровнем риска осложняется вызовами, стоящими перед российской промышленностью в условиях масштабных санкций.

В этой связи возрастает роль малого и среднего бизнеса (МСП), значение которого в современном мире как развитых, так и развивающихся стран возрастает.

В ряду малых и средних предприятий особое место занимает предпринимательская деятельность в данной отрасли. Для данного типа предприятий используется понятие "малый и средний промышленный бизнес" (МСПБ).

Сложившаяся ситуация обуславливает необходимость адаптации к внешней среде рассматриваемого сегмента отрасли как перспективного резерва для ее развития, поскольку антикризисные меры правительства РФ связаны с мобилизацией всего бизнеса, всей отрасли на решение стратегических задач экономики страны в целом.

Актуальность разработки адаптационного процесса в малом и среднем промышленном бизнесе обусловлена тем, что заказчиками для них зачастую являются крупные промышленные предприятия, то есть осуществляется операция «бизнес для бизнеса» (b2b).

Как таковая, малая и средняя промышленность во многих случаях ориентируется не на отдельного потребителя, а на крупный бизнес, который создает собственные правила поведения на рынке.

В этих условиях промышленные предприятия "малых форм" в значительной степени лишены возможности создавать собственный ассортимент выпускаемой продукции и вынуждены лишь удовлетворять потребности крупных предприятий, выступающих в качестве потребителей их продукции. Успешность такой реакции характерна для адаптации предприятия, а эффективная работа по достижению адаптивности субъекта МСПБ может непосредственно способствовать установлению устойчивых экономических связей в будущем и достижению конкурентных преимуществ.

Management of industrial enterprises in russia during the crisis

Tikhonov G.V., Kalimullina E.R.

MAI, Moscow, Russia

In the context of the need to reform the structure of the Russian economy and industry, the personal significance of the problem of developing adaptive business management in a crisis is increasing.

This is due to the collapse of many types of economic activity, import substitution among industries, and the need for a significant breakthrough in the military-industrial complex.

The unstable external environment with a high level of risk is complicated by the challenges facing Russian industry in the face of large-scale sanctions.

In this regard, the role of small and medium-sized businesses (SMEs) is growing, and its importance in the modern world of both developed and developing countries is increasing.

Among small and medium-sized enterprises, entrepreneurship in this industry occupies a special place. For this type of enterprise, the concept of "small and medium-sized industrial business" is used.

The current situation necessitates adaptation to the external environment of the considered segment of the industry as a promising reserve for development as anti-crisis measures of the Russian government connected with the mobilization of the whole business, the whole industry on the strategic objectives of the economy as a whole.

The relevance of developing an adaptation process in small and medium-sized industrial businesses is due to the fact that their customers are often large industrial enterprises, that is, the "business for business" (b2b) operation is carried out.

As such, small and medium-sized industry in many cases focuses not on the individual consumer, but on large businesses that create their own rules of behavior in the market.

Under these conditions, industrial enterprises of "small forms" are largely deprived of the opportunity to create their own range of products and are only forced to meet the needs of large enterprises that act as consumers of their products. The success of such a response is typical for the adaptation of the enterprise, and effective work to achieve the adaptability of the MSME subject can directly contribute to the establishment of stable economic relations in the future and the achievement of competitive advantages.

Современные трансформации социальной ответственности МАИ

Токарева Е.М., Яримака В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Современное Российское общество отмечено влиянием коронавируса, выступившим мощным преобразующим фактором современной социальной реальности. Изменились все сферы социальной жизни, система высшего профессионального образования тоже была вынуждена меняться. В условиях высокого уровня неопределенности влияния коронавируса и последствий этого влияния на жизненно-важные процессы обеспечения учебного процесса, МАИ, как важный элемент Российской системы высшего профессионального образования и крупнейший национальный исследовательский университет, динамично включился в противодействие пандемии, на условиях максимального сохранения социального и образовательного потенциала университета. Россия правовое социальное государство, и уровень социальной ответственности в социальных и образовательных программах имеют приоритетное значение в деятельности государства. Президент страны В.В. Путин в своем выступлении на Президиуме Государственного совета РФ 28 сентября призвал россиян «проявлять ответственность за себя и близких», он также отмечает: «Повышение качества жизни людей – главный приоритет оценки власти всех уровней». И в этой связи необходимо отметить социально ответственную деятельность администрации, руководства университета, профессорско-преподавательского состава, сотрудников и студентов университета направленную на сохранение эффективности образовательного процесса и поддержание высокого качества жизни в университете. Начиная с марта в МАИ реализуется комплекс мероприятий, среди которых особое значение имеет организация системы дистанционного образования. В рекордно короткие сроки в систему удаленного доступа был переведен весь персонал. Профессорско-преподавательский состав университета освоил новые программы системы электронного обучения, реализует свой высокий компетентный потенциал практически без потерь образовательного процесса. И совершенно справедливо в интервью Российской Газете 16.03.20, ректор МАИ, д.т.н., проф. Погосян М.А. говорит, что система онлайн обучения МАИ позволяет эффективно осуществлять образовательную деятельность в полном объеме, это целая среда, позволяющая не просто удаленно давать знания, но и сохранять полный контакт студента с преподавателем. Иностранцы студенты, не имеющие возможности въехать в Россию, тоже перешли на дистанционную форму обучения. Также он справедливо отмечает высокую важность среды и атмосферы творческого взаимодействия, которыми уже 90 лет славится МАИ.

Modern Transformations in Social Responsibility at Moscow Aviation Institute

Tokareva E.M., Yarimaka V.V.

MAI, Moscow, Russia

Modern Russian Society is characterized by its concern about the coronavirus impact on people and life. It is a powerful transformative factor of present social reality, leading to many changes both in various spheres of social life and the system of Higher Engineering Education.

Without exact information about the coronavirus and its impact on educational process Moscow Aviation Institute being a leading University and one of the biggest Research Centres, has actively involved itself in the process of adapting its educational activity to a new environment, while maintaining maximum social and educational potential of University. Russia is a legal social state with high social and educational responsibility, where the social and educational commitments are a priority in a state policy. President Vladimir Putin in his speech at the Presidium of the State Council, September 28, called on Russians "to carry the responsibility for themselves and their relatives". He also added that "Improving the quality of life is the main indicator of the work of the authorities at all levels."

In this regard it is important to point to the socially responsible activities undertaken by the University administration, University management, teaching staff and students in order to guarantee the learning process effectiveness and maintain high quality of University activities. From March,

2020 some measures have been taken among which the development and introduction of a distance learning system is of great importance. The University staff were transferred to the remote access system. New programs of e-learning system have been successfully mastered by the teaching staff, with no breakdowns in the educational process thanks to the high competence potential of the staff.

Professor Poghosyan M.A. in his interview to the Russian Newspaper on March, 16, 2020 says that the on-line system of education allows it to carry out effectively the teaching process in full, making possible not only to send information from a distance, but also build and develop relationships between lecturers and students. Students from different countries having no possibility to enter Russia were offered e-learning as the possible way of getting education right now. He also stresses the importance of having the atmosphere of creative interaction and friendly environment which are appreciated by everyone in MAI – two special features, which the University has been famous for in the course of 90 years.

Лингвомедийные свойства заголовков новостных текстов авиационной тематики (на материале немецкого языка)

Трубченинова А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Стремительное развитие авиационной отрасли способствует появлению в современной медиасфере большого количества новостных текстов, информирующих аудиторию об актуальных событиях в гражданской и военной авиации, а также о новых технологиях в области авиастроения. Новостной формат определяет такие свойства этих текстов, как динамичность, направленность на реализацию функции сообщения, стремление к объективности и нейтральному стилю изложения. Материалом для исследования послужили новостные тексты сайтов dw.com, flugrevue.de, aerokurier.de.

Ключевым элементом новостей является заголовок – графически выделенное название текста, представляющее в компрессированной форме первичную информацию о тексте, его содержательные характеристики, модально-временной план. Заголовок участвует в объемно-прагматическом членении текста, является важнейшим средством оптимизации его восприятия.

Анализ выявил преобладание предикативных заголовков - двусоставных предложений и односоставных предложений с пропущенным сказуемым или вспомогательным глаголом. Элиминации также подвергаются формы глагола-связки в составе адъективного предиката.

Исследованные заголовки отличает насыщенность сложными терминами и терминами-словосочетаниями. Среди терминологических единиц наблюдается большое количество англоязычных заимствований, в том числе и гибридных билингвальных новообразований, что объясняется отсутствием в немецком языке эквивалентных номинаций для новых понятий, стремлением к языковой экономии. Употребление англицизмов в заголовках также можно рассматривать как дополнительный инструмент для привлечения внимания читателя. Важная роль отводится и англоязычным аббревиатурам – обозначениям летательных аппаратов, организаций, технических устройств. Присущая современной медиаречи тенденция к смешиванию, размыванию традиционных форматов проявляется в использовании разговорных слов, вопросительных конструкций, восклицаний, цитат, метафор. Использование названных средств нацелено на усиление воздействия заголовка на читателя, создание эмоционального фона, значимого для осмысления последующего текста.

Результаты исследования могут найти применение в процессе совершенствования навыков профессиональной коммуникации и перевода в авиационной сфере.

Media-Linguistic Properties of Aviation-Related News Headlines (based on German materials)

Trubcheninova A.A.

MAI, Moscow, Russia

The rapid evolution of aviation industry is bringing a great number of news texts to the media highlighting important events in civil aviation, air force, and new technologies in aircraft engineering. The news format determines various properties of the texts, which make them

dynamic, focused on fulfilling the function of the message, and seeking objectivity and impartiality. We have studied news texts of dw.com, flugrevue.de and aerokurier.de.

The headline is a key element of the news. The headline is a visually highlighted heading of the text providing a compressed form of its original information, content-related characteristics, and modal-temporal patterns. The headline helps divide the text from the perspective of volume and pragmatism, and is a primary tool for its perception optimization.

Our analysis has revealed a prevalence of predicative headlines – two-member or one-member sentences with omitted predicate or auxiliary verb. Linking verbs as part of the adjective predicate are also eliminated.

The headlines we have studied are noted for their abundance in complex terms and phrase terms. Terminological units show a great number of English borrowed words including hybrid bilingual neologisms, which is accounted for by the lack of equivalent nominations for new concepts and a tendency for linguistic economy in the German language. The use of English words in headlines can also be viewed as an additional tool to attract the reader's attention. English abbreviations – aircraft, organization and equipment designations – are of special importance. The tendency for mixing and diluting traditional formats, intrinsic to today's media language, is manifested in using colloquialisms, interrogative structures, exclamations, quotations, and metaphors. The above means are used to amplify the impact of the headline on the reader, and create an emotional background that helps make sense of the following text.

This research may be used for improving professional communication and translation skills in aviation industry.

Внедрение гибких методологий при разработке изделий военной техники в систему менеджмента качества предприятия

Удодов А.Н.

АО «ОДК-Климов», г. Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время при разработке изделий военной, авиационной и космической отрасли согласно действующей нормативной базе применяются стандарты СРПП ВТ (система разработки и постановки на производство военной техники), введенной в действие впервые в середине 20 века. Ключевым стандартом при проведении опытно-конструкторских работ является ГОСТ РВ 15.203 «Порядок проведения опытно-конструкторских работ».

В сложившейся практике, исходя из требований тактико-технических требований заказчика (ТТЗ), разработка изделий электронной техники чаще всего начинается сразу с этапа разработки РКД после оформления ТЗ, пропуская этапы эскизного и технического проектирования. При строгом следовании стандартам предприятия, испытаниям и доработкам подвергается сразу опытный образец изделия целиком, при этом изделие зачастую представляет из себя сложную многопроцессорную электронную систему с множеством отдельных модулей. Отладка и поиск возможных неисправностей приводят к затягиванию сроков доведения изделия до соответствия требованиям технического задания и дополнительным затратам на множественные доработки. Каждая доработка с учетом дозаклада материальной части может занять по времени до 6 месяцев при наличии риска выявления необходимости повторной доработки.

В то же время, в индустрии разработки программного обеспечения с 1990-х годов, применяются итеративные, гибкие методологии проектирования, ориентированные на разбиение задач на множество небольших подзадач и их автономное прохождение по стандартному циклу «планирование, анализ требований, проектирование, программирование, тестирование и документирование». Данный цикл в настоящее время также внедрен во все Квалификационные требования (КТ) авиационных сертифицирующих органов (КТ-178С, КТ-254) и обязателен к выполнению. В результате предприятия вынуждены реализовывать как требования ГОСТ, так и требования КТ, что дополнительно увеличивает время проведения ОКР в части разработки документации.

Путем анализа требований ГОСТ РВ 15.203 и приведенных в нем ссылочных документов единой системы конструкторской документации (ЕСКД), выявлено отсутствие

противоречий с итеративным подходом к разработке и, соответственно, возможность интегрировать данную методологию в процесс проектирования. Результатом проведенной работы стало внедрение нового стандарта СМК по процедуре разработки изделий САУ. По экспертным оценкам специалистов АО «ОДК-Климов», возможно сокращение сроков проектирования изделий на 1-2 года.

Implementation of flexible methodologies in the development of military equipment into the quality management system

Udodov A.N.

JSC "UEC-Klimov", Saint-Petersburg, Russia

Currently, in the development of products for the military, aviation and space industries, in accordance with the current regulatory framework, the standards of the SRPP VT (system for the development and launching of military equipment), introduced for the first time in the middle of the 20th century, are applied. The key standard for development work is GOST RV 15.203 "Procedure for Development Work".

In the current practice, based on the requirements of the tactical and technical specifications (TTS), the development of electronic products most often begins immediately from the stage of development of the design documentation after the registration of the technical specification, skipping the stages of draft and technical design. With strict adherence to enterprise standards, the entire prototype of the product is immediately tested and modified, while the product is often a complex multiprocessor electronic system with many individual modules. Debugging and search for possible malfunctions lead to a delay in bringing the product to meet the requirements of the technical specifications and additional costs for multiple improvements. Each revision, taking into account the additional order of the material part, may take up to 6 months in time if there is a risk of identifying the need for rework.

At the same time, in the software development industry since the 1990s, agile design methodologies have been used, focused on breaking tasks into many small subtasks and autonomously going through the standard cycle of planning, requirements analysis, design, programming, testing and documentation. This cycle is currently also implemented in all Qualification Requirements (KT in Russian) of aviation certification bodies (KT-178C, KT-254) and is mandatory. As a result, enterprises are forced to implement both GOST and KT requirements, which additionally increases the time spent on R&D in terms of developing documentation.

By analyzing the requirements of GOST standards and linked documents, the absence of contradictions with the iterative approach to development was revealed and, accordingly, the possibility of integrating this methodology into the design process. The result of this work was the introduction of a new QMS standard for the procedure for developing ACS products. According to expert assessments of the specialists of JSC "UEC-Klimov", it is possible to reduce the design time of products by 1-2 years.

Современные связи с общественностью в авиационной отрасли

Уколова Л.Е., Алехина О.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В современных условиях деятельность PR-подразделений компаний авиационной отрасли тесно связана с управлением организацией, поскольку данная сфера имеет стратегическое значение для государства, высокотехнологична, связана с кризисными ситуациями, привлекает внимание общественности.

PR-специалисты должны делать все возможное, чтобы обеспечить непрерывный поток новостей и двусторонние коммуникации с целевыми аудиториями. То есть информация является ключевым ресурсом. Но важно не забывать об ограничениях, поскольку на авиационных предприятиях сведения могут быть отнесены к составляющим государственную или коммерческую тайну.

Способность PR-структуры действительно реализовать комплекс требуемых мер по взаимодействию с целевыми группами обретает решающее значение для формирования

общественного мнения. Правильно выстроенная коммуникативная стратегия позволяет повысить эффективность взаимодействия с аудиториями.

Основными каналами в этой сфере являются межличностные и межгрупповые коммуникации, традиционные и новые СМИ, поскольку они обеспечивают мгновенное распространение информации, широкий охват аудитории, гарантированное получение обратной связи. Следует отметить, что PR-инструменты, используемые авиакомпаниями, аэропортами, научными и производственными предприятиями, отраслевыми порталами, объектами авиационной инфраструктуры и т.д. отличаются. Кроме того, связи с общественностью тесно вплетены в интегрированные маркетинговые коммуникации, а обратная связь устанавливается чаще всего с помощью маркетинговых исследований.

Механизм коммуникации в современных организациях аэрокосмической сферы сложен. Коммуникативная модель современных связей с общественностью представляет собой многослойную структуру:

1. Многоаспектные PR-коммуникации внутри организации – корпоративные мероприятия, корпоративные СМИ, социальные акции.

2. PR-коммуникации с целевыми аудиториями во внешней среде: органами государственной власти, международными организациями, партнерами, поставщиками, клиентами, конкурентами, СМК, соискателями на рынке труда.

Не менее важным направлением является развитие PR-коммуникаций в цифровом пространстве: использование социальных сетей, рекомендательных сервисов и особенно развитие сайтов.

Поэтому сегодня в авиационной отрасли все сильнее ощущается потребность диалогической коммуникации. PR-коммуникации, основанные на двусторонней симметричной модели, в наибольшей мере отвечают потребностям общества, гармонизируют коммуникативные процессы.

Modern public relations in the aviation industry

Ukolova L.E., Alekhina O.A.

MAI, Moscow, Russia

In modern conditions, the activities of PR-divisions of aviation industry companies are closely linked to the management of the organization, because this area is strategically important for the state, being high-tech, associated with crisis situations, attracting public attention.

PR specialists should do their best to provide a continuous flow of news and two-way communication with target audiences. In other words, information is a key resource. But it is important not to forget about restrictions, because at aviation enterprises information can be classified as a state or commercial secret.

The ability of the PR-structure to effectively implement a set of required measures for interaction with target groups becomes crucial for public opinion formation. Correctly built communication strategy allows to increase the efficiency of interaction with the audience.

The main channels in this area are interpersonal and inter-group communications, traditional and new media, because they provide instantaneous information dissemination, wide audience coverage, guaranteed feedback. It should be noted that PR-tools used by airlines, airports, scientific and production enterprises, industry portals, aviation infrastructure facilities, etc. are different. In addition, public relations are closely intertwined in integrated marketing communications, and feedback is most often established through market research.

The mechanism of communication in modern aerospace organizations is complex. The communicative model of modern public relations is a multi-layered structure:

1. Multi-dimensional PR communications within an organization – corporate events, corporate media, social actions.

2. PR communications with target audiences in the external environment: public authorities, international organizations, partners, suppliers, customers, competitors, mass media, job seekers in the labor market.

No less important is the development of PR communications in the digital space: the use of social media, referral services and especially the development of sites of organizations.

That's why today in the aviation industry there is an increasing need for dialogue communication. PR communications, based on a two-way symmetric model, best meet the needs of society, harmonize communication processes.

Применение математических моделей для оценки затрат на качество

Фаюстов А.А., Пчелинцева В.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из базисов эффективности СМК является менеджмент ресурсов. Организация должна определять и обеспечивать наличие ресурсов, необходимых для разработки, внедрения, поддержания и постоянного улучшения системы менеджмента качества. В этом случае организации необходимо рассматривать возможности и ограничения, которые связаны с внутренними ресурсами и ресурсами, поступающими от внешних поставщиков. Так как целью коммерческих организаций также является увеличение прибыли, то снижение затрат на ресурсы необходимо. Проблема снижения затрат на качество очень актуальна. В данном случае нам может помочь математическое моделирование. Моделирование это процесс изучения и построения модели, которая в процессе исследования замещает объект-оригинал для получения больших знаний о нем. Объектом оригиналом является в нашем случае – проблема выбора ресурсов и их количества для требуемого качества. Например, предприятию дан заказ на изготовление сплава латуни с определенным количеством компонентов, содержащего не менее 15 компонент олова, 55 компонент цинка и 30 компонент свинца. Данный сплав необходимо изготовить из 3 разных сплавов с разным количеством содержания составляющих. Каждый компонент обладает определёнными свойствами, добавляет качества, и естественно, имеет свою отличную от других себестоимость. Моделирование позволяет определить оптимальный план производства по критерию минимизация себестоимости и далее предложить варианты увеличения эффективности. Номенклатурой является один сплав, следовательно: $a=(a_1)$. Далее выбираем стратегию – то, чем мы можем варьировать для достижения цели. Затраты на ресурсы у предприятия являются деньги на закупку сплавов: $Z(x)=45x_1+50x_2+70x_3$ и стремиться к минимуму. Для определения оптимальной стратегии плана производства следует решить задачу линейного программирования. Получаем матрицу: $X=2x_1+4x_1+x_1>30$; $X=3x_2+3x_2+3x_2>55$; $X=x_3+x_3+6x_3>15$. Функция «поиск решений» выдает оптимальный план производства: использовать 7,2 т первого сплава, 6,4 т второго сплава и 4,6 т третьего сплава, а минимальные затраты составляют 5,948,033 миллиона. Отчет о результатах дает нам информацию о целевой функции и зависимости компонентов от заданных ограничений. Отчет об устойчивости содержит множитель Лангранжа, который показывает, что при снижении второго компонента на 1 кг – снижаются и затраты на 216 тыс.руб. В математическом моделировании можно использовать также ограничения ресурсов, определенных как ГОСТАми, так и контрольными границами.

Quality cost analysis in modern management systems

Fayustov A.A., Pchelintseva V.D.

MAI, Moscow, Russia

One of the basics of QMS efficiency is resource management. The organization shall identify and ensure that resources are available to develop, implement, maintain and continuously improve the quality management system. In this case, the organization needs to consider the opportunities and constraints associated with internal resources and resources from external suppliers. Since the goal of commercial organizations is also to increase profits, reducing resource costs is necessary. The problem of reducing quality costs is very urgent. In this case, mathematical modeling can help us. Modeling is the process of studying and building a model, which in the process of research replaces the original object to obtain a great knowledge of German. The original object is in our case – the problem of choosing resources and their quantity for the required quality. For example, the plant is ordered to manufacture a brass alloy with a certain number of components containing at least 15 tin

components, 55 zinc components and 30 lead components. This alloy must be made of 3 different alloys with different amounts of constituents. Each component has certain properties, adds quality, and naturally has its own different cost. Modeling allows you to determine the optimal production plan by the criterion of minimizing cost costs and further suggest options for increasing efficiency. The nomenclature is one alloy, therefore: $a=(a_1)$. Then we choose a strategy - something that we can vary to achieve the goal. The cost of resources from the enterprise is money for the purchase of alloys: $Z(x)=45x_1+50x_2+70x_3$ and strive to minimize. To determine the optimal production plan strategy, linear programming needs to be solved. We get the matrix: $X=2x_1+4x_2+x_3>30$; $X=3x_2+3x_2+3x_2>55$; $X=h_3+h_3+6kh_3>15$. The "search for solutions" function gives an optimal production plan: to use 7.2t of the first alloy, 6.4t of the second alloy and 4.6t of the third alloy, and the minimum cost is 5.948.033 million. The results report gives us information about the objective function and the dependence of components on the specified constraints. The stability report contains the Lagrange multiplier, which shows that when the second component is reduced by 1 kg, the costs by 216 thousand rubles are also reduced. In mathematical modeling, you can also use resource constraints defined by both GOST and control boundaries.

Подготовка аналитиков с учетом объекта будущей профессиональной деятельности

¹Федотова М.А., ²Козлова Е.Г., ³Инь Бинь

¹МАИ, ²МГОУ, г. Москва, Россия

³Русско-Китайский Центр, г. Пекин, Китай

Исследуя особенности подготовки «аналитиков», необходимо отметить аспекты и перспективы развития специализированных центров и лабораторий как базы работы таких специалистов и с учетом этого выстраивать программы их подготовки. В этой связи стоит отметить два аспекта, которые во многом определили значимость аналитики со стороны задач развития государства: 1. Задачи аналитики для целей государственного управления и безопасности. 2. Задачи формирования условий для развития цифровой экономики.

Ситуационный центр (СЦ) – это организационно-технический комплекс, предназначенный для информационно-аналитического и коммуникационного обеспечения решения задач управления в органах государственной власти, корпоративных структурах и других организациях, как правило, имеющих многоуровневые сложные структуры управления. Развитие использования подобных центров в образовании должно формировать цепочку подготовки «лаборатория в вузе – ситуационный центр в компании» и более длинную «лаборатория в вузе – ситуационный центр в компании – отраслевые центры – центры государственного управления».

Авторами предложены этапы формирования и перспективы развития лабораторий (в более сложной версии, СЦ) и соответствующих программ подготовки в вузах:

1 этап. Формирование в вузах аналитических лабораторий, лабораторий принятия решений, ситуационно-аналитических центров и т.п. 2 этап. Объединение межвузовских лабораторий. 3 этап. «Виртуальное объединение» лабораторий.

Такой концептуальный подход, по сути, начинает реализовываться сейчас. Это ситуация, когда аналитические центры, лаборатории, СЦ и т.п. обмениваются своими возможностями. Например, облачно размещают свои аналитические продукты и дают разный уровень доступа к ним друг другу. Возможности реализации 3-го этапа, отчасти связаны с концептуальной базой проведения исследований в различных лабораториях и центрах, в том числе с учетом отраслевой подготовки.

Для аэрокосмической отрасли эта задача может реализовываться взаимодействием вузов с отраслевыми институтами, корпорациями и компаниями-производителями информационных систем управления. В рамках подобного взаимодействия, формируется система знаний информационно-аналитической поддержки принятия решений и обеспечения безопасности в отраслевом поле. Так, например, разработка программ и подготовка специалистов HR-аналитики возможна на базе соответствующих лабораторий вуза, IT-компаний и аэрокосмических корпораций.

Training of analysts taking into account the object of future professional activity

¹Fedotova M.A., ²Kozlova E.G., ³Inh Binh

¹MAI, ²MRSU, Moscow, Russia

³Russian-Chinese Center, Beijing, China

When studying the specifics of training "analysts", it is necessary to note the aspects and prospects for the development of specialized centers and laboratories as a base for the work of such specialists and, taking this into account, build their training programs. In this regard, it is worth noting two aspects that have largely determined the importance of Analytics for the development of the state: 1. The task analysts for the purposes of public administration and security. 2. tasks of creating conditions for the development of the digital economy.

A situation center (SC) is an organizational and technical complex designed for information, analytical and communication support for solving management problems. The development of the use of such centers in education should form a chain of training "laboratory at the University – situation center in the company" and a longer "laboratory at the University – situation center in the company – industry centers – public administration centers".

The authors propose the stages of formation and prospects for the development of laboratories (in a more complex version, SC) and corresponding training programs in higher education institutions:

Stage 1. Formation of analytical laboratories, decision-making laboratories, situation analysis centers, etc. in higher education institutions stage 2. Association of interuniversity laboratories. Stage 3. "Virtual Association" of laboratories.

This conceptual approach is, in fact, beginning to be implemented now. This is a situation when analytical centers, laboratories, SC and etc. exchange their capabilities. The possibilities of implementing stage 3 are partly related to the conceptual framework for conducting research in various laboratories and centers, including taking into account industry training.

For the aerospace industry, this task can be implemented through the interaction of universities with industry institutes, corporations, and companies that produce information management systems. As part of this interaction, a knowledge system is formed for information and analytical support of decision-making and security in the industry field. For example, the development of programs and training of HR Analytics specialists is possible on the basis of the relevant laboratories of the University, IT companies and aerospace corporations.

Возрастание роли информационных технологий в управлении персоналом предприятий аэрокосмической промышленности в условиях пандемии

Федулов В.И., Михайлов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Пандемия COVID-19 существенно усилила значимость информационных технологий в управлении персоналом, что привело к необходимости в адаптации HR-процессов к новым условиям функционирования. Наиболее явно это ощущается в высокотехнологичных отраслях промышленности, в т.ч. и аэрокосмической отрасли.

Наиболее перспективным информационным технологиям в HR- деятельности являются:

1. Программные роботы. Использование данной технологии позволяет заполнять функциональные пробелы в уже существующих рабочих алгоритмах – там, где особенно вероятны ошибки, вызванные человеческим фактором (например, при занесении персональной информации сотрудников в электронную базу).

2. Чат-боты. Кадровые подразделения, чаще всего, используют подобные программы для замены классической службы поддержки более функциональной системой, способной работать в круглосуточном режиме.

3. Искусственный интеллект. Представляя собой одну из наиболее перспективных инноваций, предназначенных для интеграции в HR-сферу, ИИ-технологии являются объектом изучения и совершенствования со стороны специалистов по управлению человеческими ресурсами.

4. Виртуальная реальность. Модели дополненной реальности обладают высоким потенциалом, так как позволяют создавать цифровые симуляции, призванные просчитать

последствия от тех или иных структурных изменений, а также корректировать поведение сотрудников в нестандартных ситуациях.

5. Блокчейн. Распределенный регистр, содержащий информацию об изменениях на протяжении всех блоков цепи, позволяет систематизировать необходимые данные, существенно упрощая процесс управления и оптимизации организационной структуры.

Применение перечисленных технологий в управлении персоналом позволит существенно повысить эффективность деятельности предприятий аэрокосмической промышленности и усилить их конкурентные позиции на отечественном и международном рынках.

The growing role of information technology in managing aerospace personnel in a pandemic

Fedulov V.I., Mikhaylov A.A.
MAI, Moscow, Russia

The pandemic COVID-19 significantly increased the importance of information technology in personnel management, which led to the need to adapt HR processes to the new operating conditions. This is most clearly felt in high-tech industries, including the aerospace industry.

The most promising information technologies in HR activities are:

1. Software robots. The use of this technology allows you to fill functional gaps in existing operating algorithms - where errors caused by a human factor are especially likely (for example, when entering personal information of employees into an electronic database).

2. Chat bots. Personnel units most often use such programs to replace the classic support service with a more functional system that can work around the clock.

3. Artificial intelligence. As one of the most promising innovations designed for integration into the HR sphere, AI technologies are the subject of study and improvement by human resource management specialists.

4. Virtual reality. Augmented reality models have high potential, as they allow you to create digital simulations designed to calculate the consequences of certain structural changes, as well as adjust the behavior of employees in non-standard situations.

5. Blockchain. The distributed register, which contains information about changes throughout the chain blocks, allows you to systematize the necessary data, significantly simplifying the process of managing and optimizing the organizational structure.

The use of these technologies in personnel management will significantly increase the efficiency of aerospace enterprises and strengthen their competitive position in the domestic and international markets.

Стимулирование эффективности деятельности молодых специалистов на предприятиях оборонно-промышленного комплекса

Фетисова Н.Е., Синельников А.О., Сафронов М.Ю., Фролов В.П.
АО «НИИ «Полос» им. М.Ф. Стельмаха», г. Москва, Россия

Талантливые управленцы, ученые и конструкторы должны иметь возможность в полной мере проявить себя и занять "командные высоты" в оборонно-промышленном комплексе. Таких людей нужно много - не одна сотня. Об этом заявил президент на заседании военно-промышленной комиссии.

Как и многие предприятия оборонно-промышленного комплекса АО «НИИ «Полос» им. М. Ф. Стельмаха» столкнулось с проблемой в работе с молодым поколением ученых и специалистов, вызванных низким уровнем заинтересованности молодых специалистов-выпускников ВУЗов в трудоустройстве на предприятие, а также недостаточной мотивации работающего молодого поколения к проявлению себя в научной, образовательной, социальной сферах деятельности предприятия. В течение нескольких лет в отдельных подразделениях НИИ Полос апробировались различные способы активизации деятельности молодежи. Исходя из сложившихся обстоятельств и на основании полученных результатов о проделанной работе, на предприятии в настоящее время формируется системный подход к данному процессу и создается внутренняя нормативная база. В рамках создаваемой системы развития кадрового потенциала предприятия вопросы стимулирования эффективности

деятельности молодых специалистов, как части общей профессиональной подготовки молодых работников, являются для предприятия первостепенными.

Для дальнейшего взаимодействия между предприятием и молодыми специалистами в АО «НИИ «Полос» им. М. Ф. Стельмаха» разрабатывается Положение о балльно-рейтинговой системе оценки и стимулирования данной категории работников.

Целью указанной системы является:

- Стимулирование научной, образовательной и социальной активности молодых специалистов.
- Повышению профессионализма и компетентности.
- Повышение конкурентоспособности научной молодежи предприятия.
- Выявление перспективных и заинтересованных работников для формирования кадрового резерва предприятия, отрасли.
- Повышение эффективности деятельности предприятия.
- Повышение узнаваемости бренда организации для учащихся и выпускников вузов.

Stimulating the effectiveness of young specialists at the enterprises of the military-industrial complex

Fetisova N.E., Sinelnikov A.O., Safronov M.Y., Frolov V.P.

POLYUS Research Institute of M.F. Stelmakh JSC, Moscow, Russia

Talented managers, scientists and designers should be able to fully express themselves and take "commanding heights" in the military-industrial complex. It's need to have a lot of such people, not only one hundred. It was stated by the President at a meeting of the military-industrial Commission.

Like many enterprises of the military - industrial complex, POLYUS Research Institute of M.F. Stelmakh Joint Stock Company faced a problem in working with the young generation of scientists and specialists. The problem was caused by the low level of interest of young specialists - University graduates in employment at the enterprise, as well as insufficient motivation of the working young generation to express themselves in the scientific, educational, social spheres of the enterprise. For several years, various ways of stirring up the activities of young people have been tested in separate divisions of the Research Institute "Polyus". Taking into account the current circumstances and the results obtained on the work done, the company is currently forming a systematic approach to this process and creating an internal regulatory foundation. In the framework of created system of development of the company's human resource potential the issues of stimulating the effectiveness of young professionals, as part of the general professional training of young employees, are of paramount importance for the company.

For further interaction between the company and young specialists of POLYUS Research Institute of M.F. Stelmakh Joint Stock Company a statement for a point - rating system for evaluating and stimulating this category of employees is developing. The purpose of this system is:

- The promotion of the scientific, educational and social activity of young specialists.
- Increase of professionalism and competence.
- Improving the competitiveness of young scientists of the enterprise.
- Identification of promising and motivated workforce for the formation of personnel reserve of the enterprise sector.
- Enhancing the efficiency of the enterprise.
- Increasing the brand recognition of the organization for students and graduates.

Атрибуты сценарного планирования и управление изменениями в авиационных проектах

¹Хван А.В., ¹Долгов О.С., ²Гуров В.А.

¹МАИ, г. Москва, Россия

²ШУЦТ, г. Шанхай, Китай

Основываясь на различных исследованиях цифровых методов управления и разработки требований, любой тип летательного аппарата относится к сложной системе, и как любая сложная система у нее существуют многоуровневые спецификации функциональных требований в соответствии с определенной методикой ранжирования. Функциональные

системные требования являются проектными данными первого уровня по проектированию современных воздушных судов, правильность и полнота входных требований прямо пропорционально влияют на качество выходного изделия. Основываясь на параметрах отраслевых стандартов, был разработан метод «захвата» системных требований верхнего уровня на основе теории сценарного планирования. Сценарное планирование является одним из базовых инструментов прогнозирования рисков и современных нестандартных проектных ситуаций. На основе данного метода проведен анализ процесса валидации требований на этапах разработки и сформулирована концепция инструментариев изменений требований сложных систем. Вышеуказанная концепция, основанная на степени зрелости, позволяет упростить процесс внесения изменений в спецификацию требований, а также оптимизировать ресурсные затраты в целом, что позволяет повысить эффективность и надежность процесса разработки крупных авиационных проектов. Основываясь на подходе Д. Мерсе были изучены экзогенные факторы, провоцирующие изменения, а также внешние стейкхолдеры авиационного проекта. В результате чего была создана матрица зависимости уровня декомпозиции системных требований к этапу разработки и системному происхождению.

Scenario planning attributes and change management in aviation projects

¹Khvan A.V., ¹Dolgov O.S., ²Gurov V.A.

¹MAI, Moscow, Russia

²SJTU, Shanghai, China

Based on various studies of digital control methods and requirements development, any type of aircraft belongs to a complex system, and like any complex system, it has multi-level specifications of functional requirements in accordance with a certain ranking methodology. Functional system requirements are the first level design data for the design of modern aircraft, the correctness and completeness of the input requirements directly affect the quality of the output product. Based on the parameters of industry standards, a method for capturing top-level system requirements was developed based on scenario planning theory. Scenario planning is one of the basic tools for predicting risks and modern non-standard project situations. Based on this method, the analysis of the requirements validation process at the development stages is carried out and the concept of tools for changing the requirements of complex systems is formulated. The above concept, based on the degree of maturity, makes it possible to simplify the process of making changes to the specification of requirements, as well as optimize resource costs in general, which makes it possible to increase the efficiency and reliability of the development process of large aviation projects. Based on the approach of D. Merce, exogenous factors provoking changes, as well as external stakeholders of the aviation project were studied. As a result, a matrix of dependence of the level of decomposition of system requirements to the development stage and system origin was created.

Роль фотографий в тексте при обучении иностранному языку в техническом вузе (на материале фотографий аэрокосмической тематики)

Христофорова Н.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Поиск новых средств и методов обучения с целью формирования языковой компетенции в контексте преподавания иностранного языка в МАИ позволил нам обратиться к фотографии как к средству представления информации по тематике вуза.

Запечатлённая реальность на фото порой сообщает о себе гораздо больше, чем письменный текст. Фотографии – источник информации, который способствуют формированию у студентов таких умений и навыков, как описание, объяснение, выводы, оценка, сравнение. При этом реализуется важнейший дидактический принцип – принцип наглядности, который имеет большое значение для студентов, так как в их возрасте более активной является зрительная память. Наглядность воздействует положительно на процесс обучения и запоминания. Использование приёмов визуального мышления способствует сокращению разрыва между особенностями познания мира современными студентами МАИ

и традиционными приёмами и средствами обучения с целью повышения мотивации учащихся к изучению иностранного языка инженерных специальностей.

В учебных текстах фотографии обязательно сопровождаются подписями – это дополнительная возможность разъяснения, исключения множественной интерпретации изображения, выделения главного. Использование вербальной составляющей и фотографий в сочетании делает текст более информативным - содержание фотографии актуализируется и усиливается соответствующим вербальным текстом. Содержание текста структурируется сознанием читателя вокруг изображения на фотографии: благодаря свойству человеческой памяти воспринимать и усваивать, в первую очередь конкретную и наглядную информацию, при чтении текста вербальный компонент связывается с фотографиями в нём. Фотографии положительно влияют на восприятие текста, тренируют память.

Внимательное изучение фотографий (например, исторические и современные фотографии самолетов, отдельных деталей самолётов и ракет, производственных площадок и т.д.) стимулирует интерес к новому материалу, его усвоение и способствует расширению словарного запаса студентов. Целесообразность использования фотографий при обучении иностранному языку студентов МАИ объясняется тем, что для студентов они – средство получения информации, которую легко воспринять и можно использовать для формирования коммуникативной компетенции.

The role of photos in the text when teaching a foreign language at a technical University

Khristoforova N.I.

MAI, Moscow, Russia

"The visible reality in the photo sometimes tells much more about itself than the written text" [1, 230]. Photos are a source of information that helps students develop such skills as description, explanation, conclusions, evaluation, and comparison. At the same time, "the most important didactic principle is implemented – the principle of visibility, which is of great importance for students, since visual memory is more active at their age. Visibility has a positive effect on learning and memorization...the information we receive is stored unconsciously in pictures" [2, 229]. "The wider use of visual thinking techniques is intended to reduce the gap between ... the features of modern students' knowledge of the world.... and traditional ... methods and means of teaching in order to increase the motivation of students to learn a foreign language. [3, 134]

Because of the ability of photos to convey complex information, verbal descriptions become more accessible to perception. Everything that is important for the content and can be recorded with the help of equipment is depicted in the photo and placed as an addition to the verbal text.

Photography has two main functions:

- 1) informative function-has the ability to transmit information;
- 2) illustrative function-has the ability to fully or partially reproduce verbal information using visual images.

In educational texts, photos without captions are not used – this is an additional opportunity to explain, exclude multiple interpretation of the image, and highlight the main thing. Using the verbal component and photos in combination makes the text more informative - the content of the photo is updated and enhanced by the corresponding verbal text. The content of the text is structured in a reader's mind around the image on the picture due to the property of human memory to receive and assimilate, primarily concrete and visual information when reading verbal component involuntarily associated with photos in it.

Careful consideration of photos stimulates the assimilation of new material and contributes to the expansion of students' vocabulary. The need to use photos when teaching a foreign language is explained by the fact that for students they are a means of obtaining information that is easy to perceive and can be used to form a communicative competence.

Использование немецкого опыта превентивного антикризисного управления для российских промышленных компаний

Чайка Н.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Особенности превентивной системы антикризисного управления в немецких компаниях заключаются в том, что в основе системы стоит как анализ количественных, так и качественных характеристик деятельности компании. Более того, ретроспективный анализ не является основным для превентивного антикризисного управления по немецкой модели. Для каждой отдельной отрасли разрабатывается собственная система антикризисного управления. Таким образом, для немецких компаний большое значение приобретает отраслевой фактор.

Одной из наиболее известных методик в сфере превентивного антикризисного управления на немецких предприятиях является ZVEI-методика, которая позволяет осуществлять анализ показателей в динамике до момента полномасштабного развития кризисных явлений в компании. ZVEI-методика в большей степени подходит для промышленных предприятий, так как в ее основе лежит анализ производственных, социальных и экономических показателей.

Автором на основе исследовательских подходов удалось установить особенности моделей антикризисного управления, применяемых в настоящее время на российских промышленных предприятиях.

Применяемые меры превентивного антикризисного управления в российском промышленном секторе экономики обуславливаются как национальной, так и отраслевой спецификой. Стратегический анализ выступает одним из основных инструментов для российского антикризисного управления. Стратегический анализ позволяет выстроить систему сценариев развития предприятия, оценить конкурентоспособность, и, к сожалению, не эффективен в связи с тем, что показывают свою неэффективность в условиях российской действительности.

При разработке программы превентивного антикризисного управления для публичных промышленных компаний автор применила ZVEI-методику для анализа точек потенциального развития кризисных явлений на ОАО «Уралкалий». Следовательно, предложенная гипотеза, о том, что немецкая модель превентивного антикризисного управления определяет источники возникновения кризисных ситуаций на предприятии на основе немецкой модели превентивного антикризисного управления, считается доказанной. ZVEI-методика может быть использована в качестве обязательного элемента превентивной антикризисной программы большинства российских промышленных предприятий, потому что она позволяет сочетать как качественные, так и количественные показатели и решения, принятые в соответствии с ZVEI-методикой относятся не только к финансовой сфере, но и касаются всех сфер управления предприятием.

Using the German experience of preventive crisis management for Russian industrial companies

Chajka N.K.

MAI, Moscow, Russia

Features of the preventive crisis management system in German companies are that the system is based on both quantitative and qualitative analysis of the company's performance. Moreover, the retrospective analysis is not the main one for preventive crisis management according to the German model. A separate crisis management system is being developed for each individual industry. Thus, the industry factor is of great importance for German companies.

One of the most well-known methods in the field of preventive crisis management at German enterprises is ZVEI-a method that allows you to analyze indicators in dynamics until the full-scale development of crisis phenomena in the company. The ZVEI method is more suitable for industrial enterprises, since it is based on the analysis of production, social and economic indicators.

Based on research approaches, the author was able to establish the features of anti-crisis management models currently used in Russian industrial enterprises.

The applied measures of preventive anti-crisis management in the Russian industrial sector of the economy are determined by both national and industry specifics. Strategic analysis is one of the main tools for Russian crisis management. Strategic analysis allows you to build a system of scenarios for the development of an enterprise, assess its competitiveness, and, unfortunately, is not effective due to the fact that they show their inefficiency in the Russian reality.

When developing a program of preventive crisis management for public industrial companies, the author applied the ZVEI method to analyze the points of potential development of crisis phenomena at Uralkali. Therefore, the proposed hypothesis that the German model of preventive crisis management determines the sources of crisis situations at the enterprise based on the German model of preventive crisis management is considered proven. The ZVEI method can be used as a mandatory element of the preventive anti-crisis program of most Russian industrial enterprises, because it allows you to combine both qualitative and quantitative indicators and decisions made in accordance with the ZVEI method relate not only to the financial sector, but also to all areas of enterprise management.

Оценка сформированности умений самостоятельной работы студентов заочного отделения Московского авиационного института в рамках дисциплины «Иностранный язык»

Чалова О.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время большее количество студентов, особенно технических вузов, сталкивается с проблемой выражения своих мыслей, как в устной, так и письменной форме. На рынке труда ждут специалиста нового формата, который должен владеть не только определенным набором профессиональных навыков и умений, но и владеть навыками общения, в том числе и в электронной среде, лишь в этом случае он будет конкурентноспособным.

Таким образом, вопросы подготовки высококвалифицированных специалистов способных самостоятельно принимать решения и владеть навыками самостоятельной работы на иностранном языке приобретают особую актуальность и являются предметом научных исследований.

Цель данного исследования оценить степень готовности студентов заочного отделения неязыкового вуза к самостоятельной работе по иностранному языку.

Анализ данных, полученных в ходе педагогического эксперимента, свидетельствует о следующем: студенты экспериментальной группы отмечают более высокую готовность и стремление к самостоятельной деятельности; у студентов, обучающихся с раздаточным материалом, объём используемых речевых и грамматических средств намного шире. Комплексная оценка уровня готовности к самостоятельной деятельности и иноязычного общения позволила подтвердить высокую продуктивность раздаточного материала с образцами высказываний, а также установить, что сформированный уровень готовности студентов экспериментальной группы к самостоятельной работе значительно выше, чем у студентов контрольной группы.

Будущие инженеры в подавляющем большинстве не владеют достаточными навыками и умениями при выполнении самостоятельной работы. Выяснилось, что почти каждый студент испытывает трудности при выполнении самостоятельной работы в процессе изучения иностранного языка, которые выражаются в отсутствии опыта осуществления самостоятельной деятельности и пассивно относятся к собственному обучению. Решение этой проблемы студенты видят в личности педагога, что свидетельствует, что учащиеся постоянно нуждаются в руководстве их самостоятельной деятельности.

Assessment of the formation of independent work skills of students of the correspondence Department of the Moscow aviation Institute in the framework of the discipline "Foreign language"

Chalova O.A.

MAI, Moscow, Russia

Currently, more students, especially technical universities, face the problem of expressing their thoughts, both orally and in writing. The labor market is waiting for a specialist of a new format, who must possess not only a certain set of professional skills and abilities, but also have communication skills, including in the electronic environment, only in this case he will be competitive.

Thus, the issues of training highly qualified specialists who are able to make decisions independently and possess the skills of independent work in a foreign language are of particular relevance and are the subject of scientific research.

The purpose of this study is to assess the degree of readiness of students of the correspondence Department of a non-linguistic University to work independently in a foreign language.

Analysis of the data obtained during the pedagogical experiment shows the following: students of the experimental group note a higher readiness and desire for independent activity; students studying with handouts, the volume of speech and grammatical tools used is much wider. A comprehensive assessment of the level of readiness for independent activity and foreign language communication allowed us to confirm the high productivity of handouts with samples of statements, as well as to establish that the formed level of readiness of students in the experimental group for independent work is significantly higher than that of students in the control group.

Future engineers overwhelmingly do not have sufficient skills and abilities to perform independent work. It turned out that almost every student has difficulties in performing independent work in the process of learning a foreign language, which are expressed in the lack of experience in independent activities and passively relate to their own learning. Students see the solution to this problem in the personality of the teacher, which indicates that students constantly need guidance in their independent activities.

О некоторых перспективах развития российско-китайского сотрудничества в авиационно-космической сфере

Чугунов А.С., Назаров А.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

В напряженной программе недавно начавшихся Годов научно-технического и инновационного сотрудничества РФ и КНР предусмотрено осуществление более тысячи мероприятий, включая в сферу авиации и космонавтики, что в целом соответствует возросшему потенциалу двусторонней связи в науке и технике.

Одним из основных направлений в этой области, выходящим на главные позиции, становится усиление взаимодействия по глобальным навигационным спутниковым системам (ГНСС), берущее начало с 2000 г.г. и официально оформившееся в 2014 г. Научно-исследовательские учреждения и промышленные предприятия обеих стран прилагают значительные усилия по координации работы и укреплению сотрудничества в обеспечении совместимости и взаимодополняемости, мониторинга и оценки характеристик, применении технологии российской системы «ГЛОНАСС» и китайской «Бэйдоу».

Эффективная работа в этом направлении позволила китайской системе «Бэйдоу» стать с 31 июля 2020 г. признанной в качестве одного из четырех основных мировых поставщиков ГНСС и сформировать механизм взаимодействия с системами навигаций GPS (США), «ГЛОНАСС» (РФ) и Galileo (ЕС). Это важно еще и потому, что услуги и технологии на основе ГНСС призваны играть возрастающую роль в мировом социально-экономическом развитии.

Двусторонняя нормативно-правовая база также позволяет развивать сотрудничество по другим перспективным видам космической деятельности, среди которых выделяются такие, как исследование Луны и дальнего космоса, ракетное двигателестроение, сотрудничество в

области низкоорбитальных систем спутниковой связи, создание космических аппаратов, обмен спутниковыми данными дистанционного зондирования Земли и др.

Для поддержания «ГЛОНАСС» в РФ реализована одна и на её основе разрабатывается новая федеральная целевая программа дальнейшего развития этой системы на период до 2030 г. Значительные достижения и открывающиеся перспективы совместной работы РФ и КНР в указанной области наглядно демонстрируют традиционную дружбу и установку на всемерное и плодотворное сотрудничество наших государств в новую эпоху.

About some prospects for the development of the Russian-Chinese cooperation in aerospace

Chugunov A.S., Nazarov A.D.

MAI, Moscow, Russia

The intense program of the recently begun Years of Scientific, Technical and Innovative Cooperation between the Russian Federation and the PRC provides for the implementation of more than a thousand activities, including in the field of aviation and astronautics, which generally corresponds to the increased potential of bilateral communication in science and technology.

One of the main directions in this area, reaching the main positions, is the strengthening of interaction on global navigation satellite systems (GNSS), which began in 2000. and officially formed in 2014. Research institutions and industrial enterprises of both countries are making significant efforts to coordinate work and strengthen cooperation in ensuring compatibility and complementarity, monitoring and evaluating performance, using the technology of the Russian GLONASS system and the Chinese Beidou.

Effective work in this direction allowed the Chinese Beidou system to become recognized as one of the four major global suppliers of GNSS from July 31, 2020 and to form a mechanism for interaction with GPS navigation systems (USA), GLONASS (RF) and Galileo (EU). It is also important because GNSS-based services and technologies have an increasing role to play in global socio-economic development.

The bilateral regulatory framework also allows the development of cooperation on other promising types of space activities, among which stand out such as exploration of the moon and deep space, rocket propulsion, cooperation in the field of low-orbit satellite communication systems, the creation of spacecraft, the exchange of satellite data for remote sensing of the Earth, and dr.

To maintain "GLONASS" in the Russian Federation, one has been implemented and on its basis a new federal target program for the further development of this system for the period up to 2030 is being developed. Significant achievements and opening prospects for joint work of the Russian Federation and the PRC in this area clearly demonstrate the traditional friendship and the attitude fruitful cooperation between our states in a new era.

Оценка эффективности дистанционного обучения иностранному языку в

Московском авиационном институте

Чуксина О.В., Коротаева И.Э.

МАИ, г. Москва, Россия

В современных условиях опыт использования LMS в ходе дистанционного обучения иностранному языку позволил вскрыть сильные стороны действующей системы электронного обучения МАИ, а также наметить ориентиры для дальнейшего совершенствования этой системы. К положительным моментам относятся количественные показатели, позволяющие регистрировать активность студентов и время, потраченное на выполнение заданий. Вместе с тем не представляется возможным объективно оценить самостоятельность выполнения заданий тестов студентами. По мнению преподавателей кафедры иностранных языков результаты итоговых контрольных работ оказались выше ожидаемых и не всегда отражали реальный уровень владения иностранным языком студентами. Однако применение Microsoft teams и Zoom позволило организовать общение со студентами на дистанционных уроках иностранного языка, что в некоторой мере компенсировало недостаток очного обучения. Следует отметить, что применение LMS эффективно для формирования грамматических навыков и рецептивных видов речевой

деятельности. Развитие продуктивных видов речевой деятельности невозможно без активного общения с преподавателем и другими студентами в аудитории или онлайн.

В то же время имеет смысл сохранить элементы дистанционного формата и в очном обучении, поскольку они развиваются взаимосвязано. Такой элемент дистанционного обучения как осуществление обратной связи со студентами в ходе их самостоятельной работы является существенной поддержкой очного обучения в современных реалиях.

В перспективе мы видим расширение форм дистанционного обучения за счёт использования качественных открытых образовательных ресурсов и дальнейшей разработки банка заданий для LMS МАИ на высоком европейском уровне.

Evaluation of the effectiveness of foreign languages distance learning at Moscow Aviation Institute

Chuksina O.V., Korotaeva I.E.
MAI, Moscow, Russia

In modern conditions the experience of using LMS in the course of foreign languages distance learning made it possible to reveal the strengths of the current MAI e-learning system, as well as outline guidelines for further system improvement. The positive aspects include quantitative factors that allow to register students' activity and the time spent on assignments. At the same time, it is not possible to objectively assess the independence of students' performance of test tasks. According to the teachers of the Department of Foreign Languages for Aerospace specialties the results of the final examinations turned out to be higher than it was expected and did not always reflect the real level of foreign language proficiency of the students. However, the use of Microsoft teams and Zoom made it possible to organize communication with students during distant foreign language lessons, to some extent it compensated the lack of full-time education. It should be noted that the use of LMS is effective to form grammatical skills and receptive reading and listening skills. The development of productive skills is impossible without active communication with the teacher and other students in the classroom or online.

A survey of students showed that apart from a number of technical difficulties, students weren't capable of organizing independent course of study. Thus, the skills of independent work and the ability to choose your own learning path largely determine the success of distance learning. These are the so-called "soft skills" that do not depend on a specific specialty, but contribute to the achievement of high results in any area. Of course, in traditional classroom lessons it is recommended to pay attention to the development of students' initiative and responsibility for the learning process.

At the same time, it makes sense to preserve the elements of the distance format in face-to-face training, since these two formats develop simultaneously. For example, the element of distance learning as providing students' feedback in their independent work becomes an essential support for full-time education.

In the future, we see the expansion of forms of distance learning through the use of high-quality open educational resources and the further development of a tasks bank for LMS MAI at a high European level.

Отраслевая консолидация как тренд развития в методике преподавания профессионально-ориентированного английского языка в аэрокосмических вузах

Шелудько Л.Н., Еремеенкова Н.А.
МАИ, г. Москва, Россия

На современном этапе развития глобальный социум сталкивается с интенсификацией интеграционных процессов во всех аспектах жизнедеятельности личности: в коммуникации, экономике, политике, культуре и, несомненно, в образовании. Очевидной становится необходимость приведения в единообразие требований к уровню подготовки специалиста аэрокосмического комплекса, что обеспечит его мобильность, позволит повысить уровень его конкурентоспособности на рынке труда. В то же время, несмотря на очевидную необходимость повышения уровня отраслевой консолидации профессионального образования, скоординированности деятельности отдельных учреждений, на сегодняшний

день проблематика консолидации в сфере образования остается изученной фрагментарно. Возникает противоречие, обусловленное осознанием значимости приведения в единообразие требований к уровню сформированности компетентностной модели выпускника аэрокосмического вуза. Актуальность исследования обусловлена отсутствием работ, посвященных изучению особенностей, перспектив и проблем отраслевой консолидации, что определяет цель исследования.

Проводился сравнительно-сопоставительный анализ информационных источников по проблеме исследования в вузах РФ аэрокосмической направленности на основании анализа документов. Как отмечает Bardach, при проведении исследований в социальных, политических науках, все вероятные источники информации могут быть условно разделены на документы и людей, обуславливая целесообразность применения данного метода исследования. Л.А. Шипилина подчеркивает, что установление межвузовского взаимодействия позволяет организовать эффективное взаимодействие на основании имплементации принципа социального партнерства. Профессионально-ориентированное обучение предусматривает формирование у студентов умения иноязычного общения в профессиональных, деловых, научных сферах.

Таким образом, повышение актуальности профессионально-ориентированного обучения приводит к открытию во многих высших учебных заведениях факультетов, на которых иностранный язык изучается как специальность.

Industry consolidation as a development trend in the methodology of teaching professionally oriented English language in aerospace universities

Sheludko L.N., Eremeenkova N.A.

MAI, Moscow, Russia

At the present stage of development, the global society is faced with the intensification of integration processes in all aspects of an individual's life: in communication, economics, politics, culture and, undoubtedly, in education. It becomes obvious that there is a need to harmonize the requirements for the level of training of an aerospace complex specialist, which will ensure his mobility and increase his competitiveness in the labor market.

At the same time, despite the obvious need to increase the level of sectoral consolidation of vocational education, the establishment of consistency, coordination of the activities of individual institutions, today the problem of consolidation in the field of education remains studied fragmentarily. A contradiction arises due to the awareness of the importance of bringing the requirements for the level of formation of the competence model of an aerospace university graduate.

The relevance of the study is due to the lack of works devoted to the study of the characteristics, prospects and problems of industry consolidation, which determines the purpose of the study.

A comparative analysis of information sources on the problem of aerospace research in universities of the Russian Federation was carried out on the basis of an analysis of documents. As Bardach notes, when conducting research in social, political sciences, all possible sources of information can be conditionally divided into documents and people, determining the appropriateness of the method application.

L.A. Shipilina emphasizes that the establishment of interuniversity cooperation allows to organize effective interaction based on the implementation of the principle of social partnership.

According to G.G. Artyushina, E.V. Balyk, professionally-oriented education provides for the formation of students' ability to communicate in a foreign language in professional, business, scientific spheres.

Thus, an increase in the relevance of professionally oriented education leads to the opening of faculties in many higher educational institutions in which a foreign language is taught as a specialty. However, the problem of education is at the stage of its comprehension, educational programs at present are almost unrepresented in the Russian educational space.

Бюджетирование на предприятиях ОПК

Шолох Л.С.

Маи, г. Москва, Россия

Одной из важнейших составляющих высокотехнологичного, наукоемкого и инновационного потенциала страны является оборонно-промышленный комплекс (ОПК). Создание, поставка, а также поддержка эксплуатации существующих образцов вооружений, военной и спецтехники (ВВСТ) для нужд собственных вооруженных сил, в рамках их технического оснащения, является основной функцией ОПК. Помимо данной функции ОПК выполняет еще одну важную роль – научно-технической и технологической базы, по ряду важнейших и перспективных направлений развития экономики государства, выступая в роли катализатора инноваций.

В целях повышения конкурентоспособности продукции ОПК 6 февраля 2019 г. подписано постановление Правительства Российской Федерации № 85-6 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие оборонно-промышленного комплекса». Главной целью этой программы является стимулирование развития ОПК.

Главной задачей в среднесрочной перспективе становятся стимулирующие действия для процессов коммерциализации технологической и интеллектуальной собственности, бережливого производства, наращивание массы прибыли и реинвестирование ее в научно-технические заделы, в том числе новые высокорентабельные производства.

Повышенная неопределенность и риск главная характеристика инновационной деятельности, при этом требующая значительного объема финансирования, в связи с чем актуальность вопросов предварительного анализа возможностей ее реализации, сокращения необоснованных затрат, оценки эффективности и вероятности ее успешности многократно возрастает. Инструментом для проведения такого анализа и одной из наиболее эффективных технологий корпоративного управления финансами предприятия на основе его результатов является бюджетирование.

Используя бюджетирование как предметную технологию по управлению финансами на инновационном предприятии возможно ощутимо повысить эффективность и качество управленческой работы, провести усиление режима экономии как материальных, так и финансовых ресурсов. В том числе, бюджетирование позволяет выявить причины отклонения показателей деятельности предприятия в той или иной области. При правильной организации процесса бюджетного управления показательно и своевременно выявление недостатков в управленческой работе предприятия и, принятия своевременных мер по их ликвидации.

Budgeting at the enterprises of the defense-industrial complex (DIC)

Sholokh L.S.

Mai, Moscow, Russia

One of the most important components of the high-tech, science-intensive and innovative potential of the country is the defense-industrial complex (MIC). The creation, supply, and support for the operation of existing models of weapons, military and special equipment (AME) for the needs of their own armed forces, within the framework of their technical equipment, is the main function of the defense industry. In addition to this function, the defense industry plays another important role - a scientific, technical and technological base, in a number of the most important and promising areas of development of the state's economy, acting as a catalyst for innovation.

In order to increase the competitiveness of defense industry products, on February 6, 2019, the Government of the Russian Federation signed Resolution No. 85-6 "On Amending the State Program of the Russian Federation" Development of the Defense Industrial Complex ". The main goal of this program is to stimulate the development of the defense industry.

The main task in the medium term is to stimulate actions for the commercialization of technologies and intellectual property, lean manufacturing, increase the mass of profits and reinvest them in scientific and technical reserves, including new highly profitable production.

Increased uncertainty and risk are the main characteristics of innovative activity, while requiring a significant amount of funding, and therefore the relevance of issues of preliminary analysis of the possibilities of its implementation, reduction of unreasonable costs, assessment of the effectiveness and probability of its success increases many times. Budgeting is a tool for carrying out such an analysis and one of the most effective technologies for corporate financial management of an enterprise based on its results.

Using budgeting as a subject technology for financial management at an innovative enterprise, it is possible to significantly increase the efficiency and quality of management work, to strengthen the mode of saving both material and financial resources. In particular, budgeting allows you to identify the reasons for the deviation of the performance indicators of an enterprise in a particular area. With the correct organization of the budget management process, it is indicative and timely to identify shortcomings in the management work of the enterprise and take timely measures to eliminate them.

Алфавитный указатель

Index

А

Абгарян К.К. 478
Абдеев Р.Г. 598
Абдеев Э.Р. 444, 598
Абдуллин А.Л. 568
Абидов М.Т. 235
Абин Д.А. 702
Абраменков Г.В. 843
Абрамова М.А. 245
Авдеев А.В. 173
Авдеев С.В. 122, 167
Авдюшкин А.Н. 445
Агапов А.В. 123
Агапов И.Г. 805
Агеев М.Н. 828
Агеева Н.Г. 810
Агешин Е.С. 246
Аглиулина А.А. 640
Агуреев Л.Е. 641
Айдосов А.А. 547
Айдосов Г.А. 547
Акимов А.А. 93, 811
Акимова Ю.С. 11
Алавердян Ю.А. 936
Алдобаева О.С. 124
Алдошкина Е.П. 853
Алейкина К.В. 655, 713
Александров А.А. 642, 726
Александрова А.Г. 528
Алексеев В.А. 366
Алексеева Е.П. 897
Алексеева М.М. 187
Алексеева П.А. 812
Алендарь А.Д. 126
Алехина О.А. 814, 943
Алётин Б.С. 73
Алешкевич В.В. 728
Алигасанова К.Л. 560
Алпатов И.В. 36, 127
Алсайед О.М. 524
Амирова Л.М. 686
Ампиров В.И. 331
Амуи А.М. 752
Ананьев Р.В. 254
Андреев В.Д. 692
Андреев В.Н. 804

Андрейчук П.О. 373
Андрианов А.М. 815
Андросович И.В. 128, 816
Анисимов К.В. 817
Анищенко И.В. 228, 229
Аннакулова Г.К. 517
Анненкова А.И. 879
Аношкин А.Н. 738, 743, 756, 782, 795
Антипов А.А. 521
Антонов Д.А. 305
Антонов И.М. 327
Анфалов А.С. 368
Анфиногентов В.И. 600
Аполлонов Д.В. 37
Аракчеев Д.В. 373
Арбузов И.В. 92
Ардатов К.В. 130
Аржанов А.И. 15
Арифуллин Р.Х. 523
Аронов Д.И. 10
Артамонов А.Ю. 41
Артамонова Н.Б. 633
Артёмов А.В. 436
Артемов А.В. 729
Артощик В.Д. 819
Архипов А.Н. 151, 744
Асеева В.А. 850
Асланов А.Р. 131
Астанов Б.Ж. 517
Астапов А.Н. 643, 730
Аунг К.М. 132
Аунг М.Т. 367
Афанасьев Д.В. 770
Афонина О.А. 860, 912
Ахматова М.С. 820
Ахрамович С.А. 38
Ашимов И.Н. 645
Ашмарин А.А. 641
Аяши О.А. 524

Б

Бабаевский П.Г. 788, 796, 799, 806
Бабайцев А.В. 452, 525

Бабичев А.А. 732
Бабкин А.В. 728, 794
Багдасарян Г.Е. 526
Багдинова А.Н. 227
Багно Д.В. 361
Баев А.Б. 353
Бактыбеков К.С. 314
Бакулин В.Н. 368, 544, 729
Балакирев Н.Е. 320
Балык В.М. 369, 375
Бальклейский Ф.В. 332
Балькаев Д.А. 733
Балынский К.В. 31
Баранов В.Ю. 264, 290
Баранов М.А. 738, 795
Баранова Я.П. 528
Барбанакова А.А. 646, 821
Барбанакова И.А. 646, 667, 821
Бардин Б.С. 445, 521, 529, 539, 595
Бардина Л.М. 503
Барменков Е.Ю. 247
Басова В.П. 822
Батаев В.Я. 361
Батталов Т.Х. 669
Бахаева Д.А. 312
Башарина Т.А. 133
Безбородова К.В. 199
Беклемищев Ф.С. 418, 440
Беличенко М.В. 446
Белобжеский Л.А. 333
Белов Н.А. 745
Белозерова И.Н. 370
Белоусов Н.А. 249
Белявский А.Е. 372
Беляев П.Е. 530
Беляева Н.В. 134
Беляков А.Ю. 135
Беляков В.А. 140
Белякова В.В. 908
Березко М.Э. 447
Березуев А.В. 40, 83
Берендакова А.В. 460

- Берецкий И.С. 449, 463
Берсуцкая О.Д. 419
Бирюков П.А. 351, 359
Бисенов О.В. 258
Биткоков Ю.И. 455
Благов С.Г. 256
Блинов В.В. 709
Бляхарский С.С. 136, 194
Бобе Л.С. 373, 394, 403
Бобков В.И. 552
Боброва Е.А. 199
Богатая М.В. 11
Богатый А.В. 150
Богданов А.П. 658
Богданов В.Н. 137
Богданов И.В. 213
Бодунков Н.Е. 41
Бодян А.Г. 647
Бойков А.А. 649
Бойцов А.Г. 752
Больших А.А. 734, 742
Бондаренко А.В. 824
Бондарчук Д.А. 735
Борзенко Е.И. 531, 623
Борзых С.В. 368
Борисова Е.В. 247, 821, 924
Борисова О.А. 655, 713
Боровик И.Н. 136, 194
Боровиков Д.А. 36, 43, 107, 127, 175
Боровов А.С. 650
Бородин И.Д. 375
Бортаковский А.С. 450, 499
Боярский Г.Г. 532
Бражник П.А. 226
Браташов А.А. 834
Брель А.О. 250
Брехов О.М. 250, 270, 303
Бродский А.В. 300
Брусило В.А. 105
Брыкин В.А. 650
Бубнов В.В. 825, 845
Буданова С.Ю. 469
Бузин М.В. 296
Буланов К.Ю. 451
Булгаков Б.А. 728, 794
- Булыгина О.В. 534
Булычев Р.П. 252
Бумай А.Ю. 44, 253, 535
Бунак В.А. 842
Бунтов М.Ю. 12
Бурдин С.С. 827
Бурдина А.А. 824, 828, 829, 830, 880, 909
Бурлаченко А.Г. 651
Бусурин В.И. 40, 83, 252, 275, 281
Бутенко В.Г. 13
Бухаров С.В. 764
Буш А.В. 768
Бужова С.П. 651
Быкадоров А.Н. 653
Быков Л.В. 222, 231, 537, 770
Бычков А.Д. 376
- В**
- Важенин Н.А. 184
Вакульчук В.И. 369
Валиева Я.А. 608
Валиуллин В.В. 138
Вальков В.В. 298
Валяев О.А. 377
Варданын И.А. 526
Варфоломеев М.С. 640
Варюхин А.Н. 232
Василевский Д.О. 140
Василенко А.Г. 831
Василенко Ю.Д. 707
Васильев Д.С. 109
Васильев Ф.В. 255
Васин А.А. 335
Васин Ю.А. 378
Ватутин К.А. 538
Вербицкий А.Б. 736
Веремеенко К.К. 263, 278, 342
Веретенников С.В. 141, 142
Верещака С.К. 331
Версин А.А. 144
Веселов А.В. 654
Вечеринина Е.А. 833
Виденин С.А. 576
Виноградов В.И. 442, 834
Виноградов Р.Е. 655, 660, 713
Виноградова Е.С. 145
- Вицукаев А.В. 336
Владислав П.Т. 765
Власова С.В. 835
Волков А.В. 452, 525
Волков А.М. 337
Волков А.Н. 737
Волков Д.А. 656, 658
Волков Д.Р. 338
Волков Е.В. 539
Волков И.К. 331
Волков М.В. 166
Волковой А.В. 110
Володин И.М. 21
Воронка Т.В. 14
Воронов В.В. 89
Воронцова Е.Д. 895
Ворошилин А.П. 717
Воспитанюк А.В. 84, 87
Вьюков Н.А. 453, 488
Вэй Я.С. 455
Вятков В.В. 146
- Г**
- Габуев В.В. 836
Гаврилин К.Б. 112
Гавриляк В.Э. 772
Гаделев Р.Р. 735
Галкин В.А. 420
Галкин В.И. 669
Галкина Е.Е. 860, 912
Галюк Н.А. 837
Ганяк О.И. 326
Гардуньо
Родригес Аарон 378
Гасанов М.Ф. 45
Гектин Ю.М. 64
Гидаспов В.Ю. 540
Гинзбург И.Б. 254, 260
Гладких А.О. 101
Глушко А.Н. 593
Голдовский А.А. 421
Голенко М.Г. 542
Голиков Н.С. 170, 222, 231, 537
Головин Д.В. 738
Гольцова Т.Ю. 457
Голяев Ю.Д. 288
Гончаренко В.И. 422
Гончаров М.Г. 133
Гордеев С.В. 147
Гордин М.В. 232
Гордуков Д.А. 853
Горелик А.Г. 99

- Горелов А.О. 255
 Горелов Б.А. 880
 Гориховский В.И. 543
 Горлов А.В. 658
 Гоюшова Л.М. 839
 Гранько А.В. 223
 Грибанов А.С. 451
 Григоренко Н.С. 46
 Григорьев А.А. 137
 Григорян А.К. 339
 Гринев А.Ю. 361
 Гритчин Д.М. 51
 Грунин А.Н. 126
 Грушин И.А. 659, 660, 697
 Грушин М.Е. 288
 Гуанхуа Чжен 767
 Гудзенко С.Г. 740
 Гуляев В.В. 840
 Гумерова А.В. 62
 Гуреев И.И. 660, 703
 Гуркина Е.Д. 661, 697
 Гуров В.А. 841, 949
 Гурьянов А.И. 163
 Гусак Л.А. 591
 Гусев Е.Л. 544
 Гуськов А.А. 309
 Гуцкин К.В. 829
- Д**
- Давыденко Л.В. 663
 Давыдов П.К. 238
 Данзюрюн Б.Д. 47
 Данилаев М.П. 600
 Двирный Г.В. 414
 Дебдина Е.Г. 856
 Дегтярев М.Э. 347
 Дегтярев С.В. 749
 Дегтярев Ю.А. 842
 Деева Е.В. 856
 Демин А.В. 568
 Демина Т.С. 741
 Демяхов Е.И. 227
 Демьяненко А.Е. 380
 Денисихин С.В. 544
 Денискин Ю.И. 843, 875
 Денискина А.Р. 820, 843, 851
 Денискина Г.Ю. 455
 Денисова И.П. 380
 Джум В.С. 340
 Дикий С.В. 15
 Дикова Ф.А. 48
- Дителева А.О. 223
 Доброславский А.В. 562
 Долгобородов Л.Е. 306
 Долгов В.В. 256
 Долгов О.С. 65, 100, 949
 Долговесов Б.С. 662
 Дормидонтов Н.Е. 149
 Дрягин Д.М. 81
 Дубинина Н.М. 845
 Дубинский М.О. 846
 Дудченко А.А. 771
 Думбадзе Л.А. 847
 Дунич Е.А. 424
 Дурбаева С.К. 745
 Дьяконов Г.А. 150
 Дьяконов Д.А. 50
 Дьяченко И.А. 492
- Е**
- Евдокимов О.А. 142
 Евдокимова Е.А. 450
 Евстратов С.В. 372
 Егоров А.А. 103, 109
 Егоров В.А. 258
 Егоров В.В. 259
 Егорова А.А. 345
 Егорова Е.К. 449, 457, 463, 474
 Егорова Ю.Б. 663
 Ежов А.Д. 51, 110, 170, 222, 231, 537, 770
 Ежов Н.П. 51
 Елизаветин И.В. 453, 488
 Елизаветина С.И. 362
 Емельяненко К.А. 666
 Епихин А.С. 538, 546, 631
 Еремеенкова Н.А. 956
 Еремин В.П. 734, 742
 Еремин И.В. 154, 560
 Ермаков А.А. 260
 Ермаков Д.А. 743, 784
 Ермишкин В.А. 665
 Ермолаева Е.Н. 848
 Еропкин А.М. 850, 857, 897
 Ерофеев Т.С. 151, 744
 Ерусланкин С.А. 153
 Ершов В.С. 118
 Ершова И.М. 851
- Ефимов А.Г. 341
 Ефимов А.Р. 71
 Ефимова И.Е. 118
 Ефимова Н.С. 262, 269
 Ефремов А.В. 17, 52, 58
 Ефремов Е.В. 17
 Ехлаков Р.С. 615
- Ж**
- Жабин А.Ю. 503
 Жаворонок С.И. 758, 759
 Жариков К.И. 382
 Жаринов О.О. 287
 Жарков М.В. 263, 278, 302
 Жарков Я.Е. 783
 Желанов С.А. 270
 Желонкин В.И. 268
 Жеребцов Р.В. 312
 Жигулин И.Е. 666
 Жильцов К.Н. 154
 Жилияев И.В. 605
 Жуков А.А. 679, 796
 Жуков Е.Ю. 667
 Жуков П.А. 271
 Жуковский П.Л. 668
 Журавлев В.Н. 155
- З**
- Заболотная Е.П. 528
 Завалов О.А. 50
 Заверткин С.А. 53
 Загидуллин Р.С. 852
 Заговорчев В.А. 381
 Задачин А.В. 237
 Зайцева А.С. 745
 Зайцева Ю.С. 54
 Заурбеков Н.С. 547
 Заурбекова Г.Н. 547
 Заурбекова Н.Д. 547
 Захаров Д.П. 176
 Захаров И.В. 425
 Захарова Л.Ф. 853
 Захарова Н.И. 55
 Захарова Т.И. 669
 Захарченко В.С. 156
 Зверев Н.А. 458, 548
 Землянская А.П. 854
 Земсков А.В. 458, 502, 548, 621
 Зимин Р.Ю. 342
 Зинина А.И. 157

Золотарев И.А. 592
Зотов А.А. 737
Зрячев С.А. 344
Зубанова С.Г. 856
Зубеева Е.В. 850, 857,
897
Зуева Т.И. 859
Зыонг М.Д. 162
Зыонг Минь Дык 459

И

Ибрагимов Д.Н. 460
Иванишин А.А. 441
Иванов А.А. 550
Иванов А.В. 572, 641
Иванов А.Е. 671, 687,
697
Иванов Б.С. 641
Иванов В.Ю. 905
Иванов Д.Я. 56
Иванов И.Г. 168, 176
Иванов И.Е. 551
Иванова Г.А. 837
Иванова О.А. 534
Иванюхин А.В. 385
Ивчин В.А. 18
Игнаткин Ю.М. 12, 22,
25
Игонин Д.М. 461, 465
Ильня М.Ю. 159
Ильинская О.И. 159
Индюхин А.Ф. 555
Инь Бинь 946
Ионов А.В. 123, 175
Иордан Ю.В. 382
Иосифов П.А. 747
Ипатов М.С. 160
Ирбитский И.С. 449,
463
Иргалеев И.Х. 52, 58
Ирошников А.И. 674
Исаев В.В. 264, 265
Исаченко И.А. 760
Исмаилов К.К. 59
Исраилова Н.Н. 741

К

Кабанов А.С. 860
Кабанов Д.С. 267
Кабанов С.А. 267
Кабов О.А. 230
Кагенов А.М. 59
Кадильникова Е.Н.
268

Казанцев С.А. 680
Кайбелева В.Р. 857
Калачанов В.Д. 269
Калашников А.И. 60
Каленик А.В. 438
Калимуллина Э.Р. 938
Калинчук В.В. 800
Калошина М.Н. 836,
854
Калугина Г.А. 861
Калуцкий Н.С. 798
Калагин М.Ю. 41, 89
Калязин В.Г. 161
Кандыба К.С. 345
Канев С.В. 147
Канищев О.А. 552
Калдунов И.А. 672
Капралова А.С. 187
Капустин А.И. 852
Карапетян Т.С. 62, 63
Каргаев М.В. 464
Карпеченко А.Г. 550
Карташов Э.М. 479
Картуков А.В. 259
Картушина Н.В. 862
Каршанов И.Ф. 48
Касатиков Н.Н. 270
Кассин Д.В. 162
Качурина Е.С. 492
Каширин Д.А. 150
Кашцев И.С. 123
Кепман А.В. 728, 794
Ким В.В. 583
Ким В.П. 156, 161
Кимяев А.И. 426
Кириллин А.В. 747
Кириллов В.Ю. 271,
293
Кириллова А.М. 864,
903, 914
Кирошкина Н.В. 918
Киселев Ф.Б. 633
Кисев А.П. 748
Кишов Е.А. 761, 781
Клементьев П.Д. 633
Клесарева М.В. 773
Клименко Д.В. 193
Климов И.С. 112
Клюев А.Ю. 163
Клягин В.А. 10
Книга В.С. 258
Князев К.А. 673
Князев М.И. 659

Ковалев А.О. 64
Ковалёв И.И. 376
Ковалёв Ф.А. 64
Коваль Н.А. 272
Коваль С.Н. 165
Кованов А.Е. 674
Коган Е.А. 865
Кожеников Г.Д. 177,
191
Козелков А.С. 599,
614
Козлов М.В. 736
Козлов Н.А. 749, 799,
805
Козлова Е.Г. 946
Козловский А.М. 348
Козловцев С.А. 936
Козуб С.С. 213
Колбасов В.Н. 327
Колганов Л.А. 305
Колганов П.А. 461,
465
Колесников А.В. 399
Колокольников Ф.А.
428
Коломенцев А.И. 132
Коломоец Е.Н. 866
Коломьшев К.А. 655,
671
Колотенко И.Р. 689
Колпаков А.М. 65
Комаров А.А. 186
Комарова Н.В. 868
Кондратцев В.Л. 554
Кондратов А.В. 193
Кондратьев Д.В. 869
Кондрацкий И.О. 750
Кондрашов Ю.Н. 273
Коновалова А.А. 910
Коновалова В.Г. 870
Коновалова О.В. 930
Коновалова С.В. 872
Коновалок М.А. 353
Константинов И.А.
873
Константинов М.С.
405, 413
Константинов С.Г. 25
Конюхов И.К. 66
Коптев Д.С. 19
Корешков А.В. 680,
752
Коржук Н.Л. 555

- Корзун Ф.А. 34
 Корнев А.В. 599
 Корноухова Н.С. 654
 Коробков К.А. 275
 Коробков М.А. 265
 Королев Д.Д. 166
 Королев И.А. 466
 Корольский В.В. 734, 742
 Коротаева И.Э. 816, 955
 Коротков А.И. 398
 Коротков О.В. 256
 Коротун В.Л. 833, 874
 Корсун О.Н. 556, 582
 Корчагин А.А. 875
 Корчагова В.Н. 558
 Коршунов В.Н. 198
 Косарева А.А. 543
 Косорукова О.В. 486, 677, 708
 Костиков Ю.А. 299
 Костин А.С. 67
 Костин В.А. 675, 753
 Костин И.Д. 68, 69
 Костишин М.О. 287
 Кострыгин Д.Г. 68, 69
 Костошин К.В. 59, 560
 Котельников В.А. 384
 Котельников М.В. 384
 Котов В.В. 486, 677, 708
 Котович И.В. 51
 Кочетков А.А. 373, 394
 Кочурова Н.И. 20
 Кошелев А.С. 876
 Кошелев Б.В. 88
 Кошелев К.Б. 613
 Кравченко В.С. 385
 Кравченко Е.А. 768
 Кравчуновский А.П. 467
 Краев В.М. 131, 877
 Крапошин М.В. 538, 561, 631
 Красавин Е.Э. 469
 Красильников П.С. 562
 Красников В.С. 564
 Красникова Р.В. 11
 Красноперов Е.П. 226
 Краснянский Д.Е. 879
 Красова С.И. 11
 Кривилёв А.В. 424
 Крит Б.Л. 750
 Кротов К.В. 566
 Крутов А.А. 37, 113
 Крылов А.А. 276
 Крылов Я.В. 754
 Крюков В.Г. 568
 Крюков И.А. 551
 Кубатина Е.П. 678
 Кудашов Н.В. 262
 Кудинов И.Д. 346
 Кудрявцев Д.А. 21
 Кудрявцева Н.С. 370
 Кудякин Р.А. 880
 Кузин Р.В. 71
 Кузнецов А.В. 679, 796
 Кузнецов А.Е. 64
 Кузнецов А.С. 277
 Кузнецов Д.Ф. 569
 Кузнецов Е.Б. 484, 508
 Кузнецов И.М. 263, 278, 302
 Кузнецов М.Д. 569
 Кузнецов Н.В. 54
 Кузнецов П.М. 249
 Кузнецов Ю.В. 353
 Кузнецова А.В. 928
 Кузьминский А.Е. 902
 Кузьмичёв В.С. 181
 Куйдин М.А. 254
 Куклин В.А. 600
 Куковинец А.В. 627
 Кукушкин Д.Ю. 235
 Куликов В.В. 736
 Кунгурцева Е.Г. 756
 Куприков М.Ю. 90, 234, 234
 Куприков Н.М. 90, 234
 Куприянов С.А. 77, 101
 Куприянова Я.А. 757
 Курбанов Р.К. 55, 72
 Курбатов А.С. 758, 759, 760
 Курбатов П.А. 225
 Курбагова Е.П. 225
 Куренных А.Е. 470
 Курис Э.Д. 73, 103, 113
 Курицын Д.Н. 680, 682
 Курицына В.В. 680, 682
 Куркин Е.И. 761, 780, 792, 802
 Курмазенко Э.А. 387, 400
 Курс К.Е. 122, 167
 Кускова А.Н. 471
 Кустова Е.В. 543
 Кучмий А.Д. 363
 Кушваха Х.Н. 881
 Кущёв Н.П. 882

Л

- Лазаревич О.А. 347
 Лаптев И.Н. 641
 Ларин А.А. 762
 Ларин С.Н. 344
 Ларина Е.В. 551
 Ларионов И.С. 733
 Латыпов Э.Р. 884
 Латыпов Ф.Т. 564, 571
 Лебедев А.В. 422
 Лебедев А.К. 764
 Лебедев И. 765
 Лебедин И.Ф. 498
 Левин М.П. 572
 Левченко М.Д. 766
 Леканов М.В. 472
 Лельков К.С. 73, 113, 280
 Лемтгожникова Д.В. 346, 347, 348
 Ленковец А.С. 689
 Ленский А.Е. 788, 806
 Леонов С.С. 508
 Лепёшкин А.Р. 159, 240, 767
 Лесик Е.С. 885
 Лесневский Л.Н. 166, 177
 Лн Джавен 193
 Лифанов И.П. 730
 Лобанов А.А. 683
 Лобанов А.В. 584
 Логинов М.Ю. 473
 Лозован А.А. 689
 Лосев В.А. 349
 Лукашов В.А. 74
 Лукичева В.Ю. 830
 Лукьянов О.Е. 761, 802
 Лунева А.А. 481
 Лупачев Д.К. 716

- Луханин В.О. 684
 Лысаков Н.Д. 886
 Лысакова Е.Н. 886
 Лысенко В.В. 227
 Лю Чжэ 281
 Ляликова Д.А. 887
 Ляпин Н.А. 76
 Ляпина С.Ю. 889
 Ляпустина Н.Г. 936
 Ляховецкий М.А. 166
- М**
- Мадиярова Г.М. 686
 Мазаев А.С. 574
 Мазен О. 774
 Мазлумян Г.С. 388, 410
 Мазурок Б.С. 662
 Майбородин А.Б. 890
 Майер А.Е. 472, 564
 Майоров Н.Н. 67
 Макаренко А.В. 420
 Макаренков Д.А. 594
 Макаров Д.А. 892
 Макарова А.С. 542
 Макашов А.А. 282
 Макеев П.В. 12, 22, 25
 Максимов А.Н. 575
 Максимова А.А. 706
 Максимова Н.К. 905
 Макурин М.М. 284
 Малиновский И.М. 168, 176
 Малинский Т.В. 672
 Мальшев В.В. 64, 355
 Мальшаков Г.В. 285
 Малютина О.А. 893
 Малясов А.А. 23
 Мамонов А.В. 674
 Мамченко М.В. 107
 Мандраков Е.С. 286
 Мантрова Ю.В. 471
 Маркевич П. 24
 Маркеев А.П. 509
 Маркелов В.В. 287
 Маркин О.В. 768
 Маркина А.Д. 894
 Марков Б.А. 604
 Мартиросов Д.С. 155, 313
 Мартиросов М.И. 506
 Мартынок Л.А. 170, 770
 Масич И.С. 576
- Маскайкина А.А. 771
 Маслов С.А. 77, 101
 Матасов А.В. 542
 Матушкин А.А. 171
 Маурина Т.С. 895
 Махнюк К.Б. 78
 Махорин А.О. 300
 Мацера М.С. 351, 359
 Мацькин С.В. 223, 241
 Медведев А.А. 288
 Медведев А.М. 323
 Медведский А.Л. 506
 Медвецкова В.М. 750
 Мезина Н.А. 850, 857, 897
 Мелик-Асланова Н.О. 898
 Мельдианова А.В. 899
 Мельников А.В. 172, 180, 183
 Мельникова В.Г. 613
 Мельникова Д.Д. 671, 687, 698
 Мелюков С.А. 327
 Меньшаков И.А. 141
 Меньшова И.И. 552
 Меньяло М.Ю. 15
 Меркишин Г.В. 259
 Меркурьев Д.В. 161, 184
 Мессинева Е.М. 352, 717
 Метельников А.А. 173
 Мешалкин В.П. 444
 Мешанков Д.В. 901
 Мешеряков В.Ю. 171
 Микилян М.А. 526
 Миколуцкий С.И. 672
 Микрюков Н.В. 157
 Минсян В.Б. 290
 Минин А.К. 175
 Минина Н.А. 665
 Мировой Ю.А. 651
 Митин Д.Е. 63, 93
 Митин Ф.В. 291
 Митрофанов А.Л. 689
 Митрофанов О.В. 772, 773, 774, 775
 Митрофанов С.Ю. 292, 428, 578
 Михайлин Д.А. 422
- Михайлов А.А. 902, 932, 947
 Могулкин А.И. 183
 Моисеев Д.В. 60, 79
 Моисеев М.Д. 260
 Мокррова М.И. 80
 Мокряков А.В. 449, 457, 463, 474
 Молотков А.А. 498
 Монахова В.П. 903
 Мордакин Б.Ю. 476
 Моржухин А.М. 389
 Моржухина А.В. 389
 Мороз О.Ю. 693
 Морозов А.Ю. 580
 Морозов П.А. 81
 Москвичева Е.Д. 719, 776
 Москвичева Н.В. 827
 Мохов А.И. 574
 Мочалова Ю.Д. 478
 Мошков П.А. 82
 Мошкунцов С.И. 232
 Муисин А.Р. 777
 Мулин П.В. 40, 83
 Муравьев А.С. 328
 Муравьева Н.В. 904
 Мурадова Н.М. 870
 Мурманцева Е.Ю. 912
 Мустаев И.З. 905
 Мустаев Т.И. 905
 Мухина А.М. 773
 Мью З.А. 479
- Н**
- Надирадзе А.Б. 138
 Назаренко А.Б. 930
 Назаров А.В. 650, 690, 709
 Назаров А.Д. 906, 954
 Назаров А.С. 84, 87
 Назаров Е.В. 65
 Наместников А.А. 920
 Насонов Ф.А. 642, 675, 726, 753, 787
 Наумов В.И. 568
 Нгуен Т.В. 293
 Нгуен Х.Л. 691, 778
 Неверова Н.В. 908
 Нейперт Т.А. 692
 Некрасов В.В. 294
 Ненахов Е.В. 479
 Неретин Е.С. 428

Неруцкая А.В. 701, 710
Нестеренко А.Н. 186
Нестеренко В.Г. 130, 168, 176
Негелев А.В. 389, 390
Нетребская О.Н. 429
Нехрест-Бобкова А.А. 909
Нигматзянов В.В. 180, 183
Никитенко А.И. 113
Никитин С.О. 25
Никитченко Ю.А. 447, 469
Никифоров А.С. 795
Никифоров П.В. 789
Николаев А.В. 99
Николаев И.А. 177
Николаев С.В. 556, 582
Николайчук Г.А. 693
Никольская Е.Э. 837
Никулин Е.Н. 291
Никулина Е.Н. 910
Нилов А.Н. 284
Новиков А.Д. 391
Новиков А.С. 937
Новиков А.Ю. 296
Новиков В.Д. 393
Новиков Д.К. 203
Новиков И.С. 843
Новиков С.В. 911
Норинская И.В. 309
Носкова К.Р. 178
Нужнов М.С. 353
Нурутдинова А.Р. 629

О

Оболенский В.Ю. 430
Обручев И.А. 431
Обухов В.А. 172, 180
Овсянников М.О. 37
Овчарова П.А. 646, 667
Овчинников А.В. 695
Огнев В.А. 256
Огородников С.С. 912
Одинцова Е.И. 864, 903, 914
Олейник А.В. 696
Олотин С.В. 186
Омар Х.Х.О. 181
Опенкин А.В. 171

Орлов А.А. 660, 697
Орлов С.А. 59
Осипов В.В. 241
Осипов М.А. 228, 229
Останко Д.А. 599
Острик А.В. 583
Офицеров В.П. 296
Охотников Д.А. 451

П

Павлов А.А. 780, 781
Павлов А.В. 394
Павлов В.Ю. 298, 299
Павлов К.А. 182
Павлов О.В. 77
Павлова С.А. 781
Падалко С.Н. 300, 311
Пайнг С.Т. 395
Пайсон Д.Б. 71
Паламарчук А.Г. 915
Палешкин А.В. 399
Палтневич А.Р. 698
Пантелеев А.В. 481, 482, 483, 526, 584
Панфилов А.С. 418
Парафесь С.Г. 396, 757
Пархаев Е.С. 20
Пасечников И.И. 84, 87
Пасечников Р.И. 84
Пастухов В.И. 313
Пастушенко О.В. 414
Патрушев А.Ю. 700
Пахунов А.С. 118
Пачина А.В. 682
Пашин Т.П. 380
Пашкевич Д.С. 745
Пашкова Н.Д. 199
Пашковская Е.А. 474
Пейсахович О.Д. 172, 183
Пермяков А.П. 741
Петров И.А. 721
Петров Р.А. 716
Петрова Е.Н. 189
Петрухин В.А. 88
Петухова О.С. 701, 710, 712
Печенюк В.С. 27, 93
Пивоваров Д.Е. 484
Писарев П.В. 756, 782, 784
Пичужкин П.В. 398
Платонов М.А. 384

Плешаков А.И. 145
Плосков С.Ю. 28
Плохий А.П. 184
Погорелко В.В. 564
Подгорных Р.О. 186
Подкорытов А.Н. 354
Подлесная А.О. 916
Подшибнев В.А. 433
Пожидаев А.А. 191
Пожидаев Е.П. 679, 796
Покровский С.В. 702
Полиев А.В. 556
Полищук Н.В. 918
Пономарев П.А. 89
Поняев Л.П. 90, 234, 236
Попов А.М. 68, 69
Попов Г.А. 150, 180
Попов Д.А. 376
Попов Ю.И. 27
Потапова З.Е. 587, 589
Походенко М.В. 421, 434
Правдильо М.Н. 351, 359, 421
Приоров Г.Г. 588
Приступова Ю.С. 782
Проданик В.А. 34
Прозоров Д.Е. 919
Прокопенко Д.А. 29, 920
Пронин С.Р. 677
Пронина П.Ф. 381, 399
Пронькин А.Н. 263, 278, 302
Просвирина Н.В. 922
Протасов В.И. 587, 589
Прохоров К.О. 591
Прошкин В.Ю. 387, 400
Пузанов А.В. 486, 677, 708
Пушкарев М.Д. 923, 936
Пушкарева М.Б. 923
Пчелинцева В.Д. 924, 945
Пчельников А.В. 695

Р

Рафикович Ю.А. 151, 236, 744

- Разумов Д.А. 355
 Ракитина М.В. 273
 Ракитянский В.М. 482
 Рамазанова Д.Р. 389
 Рассказова В.А. 592
 Раткин И.М. 593, 594
 Ратников М.О. 303
 Рачков А.А. 595
 Рачук В.С. 133
 Ребров И.Е. 783
 Ревизников Д.Л. 580, 610
 Резниченко Г.М. 793
 Ремизов А.Е. 146
 Ремчуков С.С. 240, 767
 Решетников Д.А. 425
 Роголин В.Е. 672
 Рогожина Л.А. 926
 Родников А.В. 487
 Родченко В.В. 381
 Рожков К.А. 714
 Роман К.В. 784
 Руднев И.А. 228, 229, 702
 Рулевский В.М. 496
 Румакина А.В. 422
 Русских С.В. 402
 Рыбаков А.С. 227
 Рыбаков В.А. 380
 Рыбаков Д.В. 45, 87
 Рыбакова Л.В. 927
 Рыболовлев М.С. 786
 Рьжков Б.В. 304
 Рьжова Е.С. 775
 Рябинкин М.С. 305
 Рябкова Г.В. 928
 Ряховский А.П. 646
- С**
- Сабирзянов Р.Р. 686
 Савелов В.А. 187
 Савелова К.Э. 187
 Савельев А.С. 419
 Савельев Р.С. 157
 Савельев С.А. 92
 Савилкин С.Б. 223, 241
 Савин А.А. 596
 Савкин А.В. 305
 Савкин Н.В. 929
 Савосин И.В. 306
 Савостин Д.С. 661, 703, 712
- Савченко Б.С. 453, 488
 Савченков Д.В. 702
 Савчук А.Т. 188
 Садретдинова Э.Р. 381
 Саевец П.А. 186
 Саженков Н.А. 795
 Сазонова Т.В. 118
 Саидов С.А. 517
 Сайтов Р.И. 444, 598
 Сайпулаев М.Р. 489
 Саламатин В.С. 787
 Салиенко Н.В. 788, 799, 801, 806
 Салихов А.Р. 333
 Сальников А.Ф. 189
 Сальников Н.А. 403
 Самойловский А.А. 93
 Самохин В.Ф. 82
 Самсонович С.Л. 433, 437
 Санников Ю.И. 436
 Сапрыкин О.А. 438
 Саразов А.В. 599
 Сатаева Н.Е. 666
 Сафронов М.Ю. 948
 Сафронова К.П. 378
 Сафуанов Р.Р. 189
 Сахабутдинов А.Ж. 600
 Сахабутдинова Г.И. 600
 Сачков Л.С. 94
 Свинин С.В. 96
 Свиридов А.Г. 768
 Свиридов И.Э. 133
 Свотина В.В. 180
 Сгонов Н.М. 704
 Сдобнов А.Г. 299
 Севастьянова Т.В. 404
 Селиванов С.Е. 780, 781
 Селиванова В.А. 440
 Селиверстов С.Д. 177
 Сембиев О.З. 602
 Семенихин С.А. 150
 Семенов А.С. 441
 Семенчиков Н.В. 20
 Семивеличенко Е.А. 905
 Семина А.П. 930
 Семьина М.В. 246
 Сергеев С.А. 346
 Серебряков А.С. 97
 Сесюкалов В.А. 405
- Сивакова Т.В. 494, 617
 Сидюкова А.И. 604
 Силуянова М.В. 126, 128, 196
 Сильченко О.Б. 706, 707, 789
 Симаков А.Л. 708
 Симакова А.В. 853
 Симдиков А.Ю. 98
 Синельников А.О. 288, 948
 Синякин В.П. 190
 Сиротинский Е.А. 356
 Ситников Н.М. 99
 Скачко Г.А. 933
 Скворцова А.А. 437
 Склезнев А.А. 791
 Сковородкин Е.А. 142
 Скорик А.В. 879
 Скоробогатых И.В. 479
 Слав С.И. 868
 Сладков И.С. 170, 222, 231, 537
 Сладков Р.И. 348
 Слепцов В.В. 223, 241
 Слюсарев А.А. 805
 Смагин А.А. 100
 Смагин Д.И. 157
 Смерчинская С.О. 490
 Смирнов К.К. 650, 709
 Смирнов П.С. 618
 Смирнова Е.А. 701, 710
 Смирнова Т.С. 902, 932
 Снежина Н.Г. 605
 Соболев А.В. 453, 488
 Соболев В.Р. 497
 Сова А.Н. 388, 410
 Сокольский А.М. 264, 308
 Сокольский М.Л. 308
 Соколянский В.П. 15
 Сокулер М.С. 523
 Солдатенков И.С. 260
 Соловьёв А.С. 661, 703, 712
 Соловьёв В.А. 736
 Соловьёв М.С. 404
 Соловьёва Ю.Б. 665
 Солодовников Ю.В. 45

Солошенко В.Н. 93
Соляев Ю.О. 723
Сопин С.В. 492
Сорокин А.Е. 372, 860,
904
Сорокин В.А. 135
Соседко К.А. 294
Соснов О.Р. 77, 89,
101
Сошников Д.В. 608
Сперанский К.А. 671,
713
Спирин А.А. 309
Спирина М.О. 780,
792
Спица А.В. 406
Способин А.В. 610
Станкевич А.М. 300,
311
Стариковский А.С.
228, 229
Старков И.Н. 714
Стародумов А.В. 168
Старостина Е.А. 793
Старцев В.А. 804
Стенина Т.В. 572
Степаненко А.Ю. 358
Степаненко В.А. 358
Степанов Д.В. 149,
408
Степанова Г.В. 408
Стец А.А. 493
Стоколесов М.С. 611
Столярчук В.А. 312
Стоцкий Е.А. 102
Стрелец М.Ю. 614
Стрижак С.В. 572, 613
Стрижиус В.Е. 716
Строгонова Л.Б. 378
Строкач Е.А. 136, 191,
194
Стручков А.В. 614
Стуловский А.В. 582
Судаков В.А. 470, 494,
591, 615, 617, 618, 619
Судукова К.А. 717
Судейманов И.М. 313
Сурков Д.А. 73, 103,
104, 280
Суркова Е.В. 933
Сухов Е.А. 620
Сухоруков М.П. 496
Сыздыков А.Б. 314

Сычѳв А.В. 31

Т

Табунов В.С. 669
Тавицкий В.А. 77, 101
Талалаева П.И. 170,
222, 231, 537
Танана В.П. 604
Танская Д.В. 898
Тараненко А.В. 935
Тарарин А.М. 105
Тарасенко А.С. 718
Таргамадзе Д.С. 420
Таршина В.А. 273
Тах В.Х. 71
Тезиков С.Е. 107, 127
Теммоява Ф.М. 409
Теплышев В.Ю. 936
Терентьев В.В. 243
Терентьев М.Н. 282
Терехин О.В. 335
Терехов В.Е. 794
Тим Скарф 608
Тимофеев А.Н. 673
Тимофеев И.А. 804
Тимофеев П.А. 673
Тимушев С.Ф. 193
Титова А.С. 366
Тихомиров И.А. 840
Тихонов А.И. 811, 819,
901, 911, 937
Тихонов Г.В. 938
Тихонова А.А. 795
Тищенко Д.Ю. 351,
359
Ткаченко А.Ю. 181
Ткаченко Л.М. 213
Ткаченко О.И. 326
Ткаченко Т.П. 679, 796
Товбис Е.М. 635
Токарев А.В. 270
Токарева Е.М. 940
Толстель О.В. 438
Толстихин Д.С. 682
Толстов К.В. 550
Толстых С.А. 316
Торгаева Д.С. 496
Торишный Р.О. 497
Торлуца А.А. 271
Торопылина Е.Ю. 719,
776
Трегубенков С.Ю. 880
Третьякова О.Н. 498
Трефилов П.М. 107

Трифонов И.В. 110
Трофимов Ю.В. 317
Трубников А.А. 425
Трубченинова А.А.
941
Турбин Н.В. 748, 798
Туркин И.К. 396
Тырышкин И.М. 154
Тюльков К.В. 136, 194
Тюменцев Ю.В. 461,
465
Тяглик М.С. 13, 14, 34,
52, 58
Тяпкин П.С. 360

У

Удодов А.Н. 942
Уколова Л.Е. 943
Ульянов Д.В. 109, 280
Уляхин А.В. 690
Урбаха М. 765
Урюпин И.В. 499
Усовик И.В. 501
Усс А.Ю. 195
Устинов А.А. 799
Устинов С.М. 306
Ухов П.А. 717
Ушаков А.Н. 104
Ушаков В.А. 318

Ф

Фадеев М.М. 320
Фадеева М.В. 320
Фадеева Ю.В. 68, 69
Файкин Г.М. 502, 621
Фальков Е.А. 503
Фам В.Т. 32
Фатыхов М.А. 598
Фаюстов А.А. 924, 945
Федоров Д.Ю. 135
Федотова Л.А. 908
Федотова М.А. 946
Федулов В.И. 947
Федюнин Д.А. 398
Фертиков А.О. 196
Фершалов Ю.Я. 198
Фетисов А.Г. 352
Фетисов В.А. 67
Фетисов И.В. 110
Фетисова Н.Е. 948
Филин А.А. 119
Филинов Е.П. 199
Филипенков С.А. 50

Фирсанов В.В. 32, 691,
778
Фишер М.Д. 312
Фозилов Т.Т. 721
Фомина В.М. 654
Фролов В.П. 822, 948
Фролов Л.А. 171
Фролова Н.А. 490

Х

Хакимов А.В. 33
Хаматов Р.Р. 398
Хамидуллин О.Л. 686
Харин Е.Г. 503
Харитоненков А.И.
321
Харитонов А.Б. 329
Харламов А.Н. 332
Хартов С.А. 147, 172,
183
Харченко Р.В. 146
Хаустов А.И. 532
Хван А.В. 841, 949
Хегай Е.И. 623
Хизриев Х.Г. 105
Хмелевский А.Н. 137
Хоанг Ву Тан 322, 625
Холобцев Д.П. 236
Холостова О.В. 504
Хомич В.Ю. 783
Хомич Ю.В. 672
Хомутская О.В. 323
Хомченко А.В. 506
Хопин П.Н. 707
Хорев Т.С. 111
Хорошко А.Л. 321,
324
Хорошко Л.Л. 324
Хоткина Е.С. 927
Христофорова Н.И.
950
Хромов А.В. 736
Хрусталеv А.Л. 507
Хуанг Ч.П. 605
Хуссейн С.М.Р.Х. 600

Ц

Цапко Е.Д. 508
Цветков М.Б. 626
Цитович А.А. 361
Цыганкова Л.П. 198
Цыркoв Р.А. 235

Ч

Чабдаров Р.А. 619

Чайка Н.К. 952
Чалова О.А. 953
Чебакова А.А. 326
Чебаненко В.А. 800
Чеботарев Ю.С. 434
Чеверда В.В. 230
Чекалов Д.И. 288
Чекин А.Ю. 627
Чекина Е.А. 628
Чекомазов В.Г. 848
Чекулаев И.И. 99
Челноков В.В. 542,
588, 593, 594
Челноков Ю.Н. 473
Чельшев А.А. 498
Чемоданов В.Б. 112,
327
Червакова А.В. 154,
560
Червяков А.А. 801
Черкай А.Д. 328
Черненко Т.В. 741
Чернецкая М.Л. 410
Чернова В.В. 442
Черноморский А.И.
73, 113
Чернышев А.В. 195
Чернышов М.В. 187
Чертыховцев П.А. 722
Чертыховцева В.О.
722, 802
Чесноков А.В. 804
Чехов Е.Л. 305
Чеховская Т.Н. 509
Чечин Д.Г. 41
Чжо З.Л. 235
Чжо Й.К. 723
Чижикова Л.А. 510
Чистяков В.Ю. 306
Чугунов А.С. 954
Чуксина О.В. 955
Чулков М.В. 512
Чумагина Ю.И. 336
Чумакова Е.В. 329
Чэнь Болунь 200

Ш

Шабанов В.Б. 114
Шавин М.Ю. 116
Шадрин М.Ю. 662
Шалагин С.В. 629
Шалашов М.А. 411
Шапошников Е.С. 201
Шаров К.И. 805

Шаройко Е.А. 927
Шаталин А.А. 806
Шахов А.С. 151, 744
Шацкий М.В. 631
Швецoв А.В. 117
Швецoва С.В. 117
Шевцов С.Н. 605, 800
Шевченко В.В. 413
Шевчук А.А. 414
Шелков К.А. 734
Шелудько Л.Н. 956
Шемонаева Е.С. 718
Шершунова Е.А. 232
Шешенин С.В. 633
Шибайев В.М. 37, 118
Шилов Е.А. 156, 161
Шилов С.О. 184
Шипунов Г.С. 738
Шишканов Н.В. 674
Шишкина Д.А. 686
Шкаберина Г.Ш. 635
Шклярчук Ф.Н. 402
Шлеенкин Л.А. 281
Шляндина Н.С. 203
Шматов Д.П. 133
Шмырова А.В. 663
Шолох Л.С. 958
Шомов А.И. 22
Шрагер Г.Р. 531
Шрамко К.К. 119
Шувалов В.И. 213
Шукалов А.В. 287
Шустов С.А. 636

Щ

Щеглова Е.В. 387
Щербаков А.И. 34

Э

Эпельфельд А.В. 750
Эркинов А.А. 171
Эспиноса Б.О. 761,
802

Ю

Ювшин А.М. 808
Юдин А.В. 800
Юдин В.Н. 337, 339
Юдинцев А.Г. 496
Юрин В.Н. 724
Юсипов Б.Х. 168
Юшук Р.В. 415

Я

Ягудин Т.Г. 701, 710
Яковец М.А. 160

Яковлев А.А. 82, 182,
188
Яковлева А.А. 483
Ямщиков В.А. 783
Яримака В.В. 940

A

Abdeev E.R. 444
Abdeev I.R. 598
Abdeev R.G. 598
Abdullin A.L. 568
Abgaryan K.K. 478
Abidov M.T. 236
Abin D.A. 703
Abramenkov G.V. 844
Abramova M.A. 245
Afanasiev D.V. 770
Affonso J.W. 236, 237
Afonina O.A. 861, 913
Agapov A.V. 124
Agapov I.G. 806
Ageev M.N. 829
Ageeva N.G. 810
Ageshin E.S. 247
Agiullina A.A. 640
Agureev L.E. 642
Aidosov A.A. 548
Aidosov G.A. 548
Akhatmatova M.S. 820
Akhramovich S.A. 38
Akimov A.A. 93, 812
Akimova Y.S. 11
Alaverdyan Yu.A. 936
Aldobaeva O.S. 125
Aleikhina E.P. 854
Aleikina K.V. 714
Alekhina O.A. 814, 944
Aleksandrov A.A. 643,
727
Aleksandrova A.G. 529
Alekseev V.A. 366
Alekseeva E.P. 897
Alekseeva M.M. 187
Alekseeva P.A. 813
Alendar A.D. 126
Aleshin B.S. 74
Aleshkevich V.V. 728
Aligasanova K.L. 560
Alikina K.V. 656
Alpatov I.V. 36, 128
Alsayed O.M. 524
Amirova L.M. 687

Ярославский В.В. 296
Ярославцев Н.Л. 240,
767
Ярошенко А.С. 700
Ясенцев Д.А. 362, 363

Ampilov V.I. 331
Amui A.M. 753
Ananiev R.V. 254
Andreev V.D. 693
Andreev V.N. 804
Andreychuk P.O. 374
Andrianov A.M. 816
Androsovich I.V. 129,
817
Anfalov A.S. 369
Anfinogentov V.I. 601
Anischenko I.V. 228,
230
Anisimov K.V. 818
Annaqulova G.K. 519
Annenkova A.I. 879
Anoshkin A.N. 739,
743, 756, 783, 796
Antipov A.A. 522
Antonov D.A. 306
Antonov I.M. 327
Apelfeld A.V. 751
Apollonov D.V. 37
Arakcheev D.V. 374
Arbuzov I.V. 92
Ardatov K.V. 130
Arifullin R.H. 523
Arkipov A.N. 152, 745
Aronov D.I. 10
Artamonov Y.V. 42
Artamonova N.B. 634
Artemiev A.V. 730
Artyomov A.V. 436
Artyushchik V.D. 819
Arzhanov A.I. 16
Aseeva V.A. 850
Ashimov I.N. 645
Ashmarin A.A. 642
Aslanov A.R. 132
Astanov B.J. 519
Astapov A.N. 644, 731
Aung K.M. 133
Aung M.T. 367
Avdeev A.V. 174
Avdeev S.V. 122, 168
Avdyushkin A.N. 446
Ayachi O.A. 524

Ясинская Д.О. 830
Ястремский А.В. 637
Яшин А.Г. 120

B

Babaevsky P.G. 789,
797, 800, 807
Babaytsev A.V. 453,
525
Babichev A.A. 732
Babkin A.V. 728, 794
Baev A.B. 354
Bagdinova A.N. 227
Baghdasaryan G.Y. 527
Bagno D.V. 362
Bakhaeva D.A. 313
Baktybekov K.S. 315
Bakulin V.N. 369, 544,
730
Balakirev N.E. 320
Balkaev D.A. 734
Balyasny K.V. 31
Balyk V.M. 370, 375
Balykleyskiy F.V. 333
Baojie Liu 516
Baranov M.A. 739, 796
Baranov V.Y. 265, 290
Baranova Y.P. 529
Barbanakova A.A. 647,
822
Barbanakova I.A. 647,
668, 822
Bardin B.S. 446, 522,
530, 540, 596
Bardina L.M. 504
Barmenkov E.Y. 248
Basharina T.A. 134
Basova V.P. 823
Batayev V.I. 362
Battalov T.Kh. 670
Beklemishchev F.S.
418, 440
Belichenko M.V. 447
Belobzheskiy L.A. 334
Belousov N.A. 250
Belov N.A. 746
Belozeroва I.N. 371
Belyaev P.E. 531
Belyaeva N.V. 135
Belyakov A.Yu. 136

- Belyakov V.A. 140
 Belyakova V.V. 908
 Belyavskii A.E. 373
 Berendakova A.V. 461
 Beretskiy I.S. 449, 463
 Berezko M.E. 448
 Berezyuev A.V. 40, 84
 Bersutskaya O.D. 420
 Bezborodova K.V. 200
 Biryukov P.A. 351, 359
 Bisenov O.V. 258
 Bityukov Y.I. 456
 Blagov S.G. 257
 Blinov V.V. 710
 Blyakharsky S.S. 137, 195
 Bohe L.S. 374, 395, 404
 Bobkov V.I. 553
 Bobrova E.A. 200
 Bodunkov N.E. 42
 Bodyan A.G. 648
 Bogataya M.V. 11
 Bogatyi A.V. 151
 Bogdanov A.P. 658
 Bogdanov I.V. 214
 Bogdanov V.N. 138
 Boikov A.A. 649
 Bolshikh A.A. 735, 742
 Bondarchuk D.A. 736
 Bondarenko A.V. 825
 Borisova E.V. 248, 822, 925
 Borisova O.A. 656, 714
 Borodin I.D. 375
 Borovik I.N. 137, 195
 Borovikov D.A. 36, 43, 107, 128, 175
 Borovov A.S. 650
 Bortakovskiy A.S. 451, 500
 Borzenko E.I. 532, 624
 Borzykh S.V. 369
 Boyarsky G.G. 533
 Boytsov A.G. 753
 Bratashov A.A. 834
 Brazhnik P.A. 226
 Brekhov O.M. 251, 270, 303
 Brel A.O. 251
 Brodsky A.V. 301
 Brusilo V.A. 106
 Brykin V.A. 651
 Bubnov V.V. 826, 845
 Budanova S.Yu. 469
 Bukharov S.V. 765
 Bulanov K.Y. 452
 Bulgakov B.A. 728, 794
 Bulychev R.P. 252
 Bulygina O.V. 535
 Bumai A.Y. 44, 253, 536
 Bunak V.A. 843
 Buntov M.Y. 12
 Burdin S.S. 827
 Burdina A.A. 825, 829, 830, 831, 880, 909
 Burlachenko A.G. 652
 Bush A.V. 769
 Busurin V.I. 40, 84, 252, 275, 281
 Butenko V.G. 14
 Buyakova S.P. 652
 Buzin M.V. 297
 Bychkov A.D. 376
 Bykadorov A.N. 653
 Bykov L.V. 223, 232, 537, 770
- C**
- Chabdarov R.A. 619
 Chajka N.K. 952
 Chalova O.A. 954
 Chebakova A.A. 326
 Chebanenko V.A. 801
 Chebotarev Y.S. 435
 Chechin D.G. 42
 Chekalov D.I. 289
 Chekhov E.L. 306
 Chekhovskaya T.N. 510
 Chekin A.Y. 628
 Chekina E.A. 629
 Chekomazov V.G. 849
 Chekulaev I.I. 99
 Chelnokov V.V. 542, 589, 594, 595
 Chelnokov Yu.N. 474
 Chelyshev A.A. 499
 Chemodanov V.B. 112, 327
 Chen Bolun 201
 Chen Jiang 514
 Cherkay A.D. 328
 Cherneckaya M.L. 410
 Chernenok T.V. 741
 Chernomorsky A.I. 74, 114
 Chernova V.V. 443
 Chernyshev A.V. 196
 Chernyshov M.V. 187
 Chertykovtsev P.A. 722
 Chertykovtseva V.O. 722, 803
 Chervakova A.V. 155, 560
 Chervyakov A.A. 802
 Chesnokov A.V. 804
 Cheverda V.V. 231
 Chistyakov V.Yu. 307
 Chizhikova L.A. 511
 Chugunov A.S. 955
 Chuksina O.V. 956
 Chulkov M.V. 512
 Chumagina Y.I. 336
 Chumakova E.V. 329
- D**
- Danilaev M.P. 601
 Danzurun B.D. 48
 Davydenko L.V. 664
 Davydov P.K. 239
 Debdina E.G. 857
 Deeva E.V. 857
 Degtyarev M.E. 348
 Degtyarev S.V. 750
 Degtyarev Y.A. 843
 Demianenko A.E. 380
 Demikhov E.I. 227
 Demin A.V. 568
 Demina T.S. 741
 Denisikhin S.V. 545
 Deniskin Y.I. 844, 876
 Deniskina A.R. 820, 844, 851
 Deniskina G.Y. 456
 Denisova I.P. 380
 Dghum V.S. 340
 Diakonov G.A. 151
 Dikiy S.V. 16
 Dikova F.A. 49
 Diteleva A.O. 224
 Dobroslavskiy A.V. 563
 Dolgoborodov L.E. 307
 Dolgov O.S. 65, 100, 950
 Dolgov V.V. 257
 Dolgovesov B.S. 663
 Domjan R. 90, 91
 Dormidontov N.E. 149
 Dryagin D.M. 82
 Dubinina N.M. 845
 Dubinskiy M.O. 847

Dudchenko A.A. 772
Dumbadze L.A. 848
Dunich E.A. 424
Duong M.D. 163, 460
Durbaeva S.K. 746
Dvirniy G.V. 415
Dyachenko I.A. 492
Dyakonov D.A. 50

E

Efimov A.G. 342
Efimov A.R. 71
Efimova I.E. 118
Efimova N.S. 262, 269
Efremov A.V. 17, 53, 58
Efremov E.V. 17
Egorov A.A. 104, 109
Egorov V.A. 258
Egorov V.V. 260
Egorova A.A. 346
Egorova E.K. 449, 457, 463, 475
Egorova Y.B. 664
Ekhlakov R.S. 616
Elisavetina S.I. 363
Elizavetin I.V. 454, 489
Emelyanenko K.A. 666
Epikhin A.S. 538, 546, 632
Ereemenkova N.A. 957
Eremin I.V. 155, 560
Eremin V.P. 735, 742
Erkinov A.A. 172
Ermakov A.A. 261
Ermakov D.A. 743, 785
Ermishkin V.A. 665
Ermolaeva E.N. 849
Erofeev T.S. 152, 745
Eropkin A.M. 850, 858, 897
Ershov V.S. 118
Ershova I.M. 851
Eruslankin S.A. 153
Espinosa B.O. 762, 803
Evdokimov O.A. 143
Evdokimova E.A. 451
Evstratov S.V. 373
Ezhov A.D. 52, 110, 170, 223, 232, 537, 770
Ezhov N.P. 52

F

Fadeev M.M. 320

Fadeeva M.V. 320
Fadeeva U.V. 69, 70
Falkov E.A. 504
Fatykhov M.A. 598
Faykin G.M. 502, 622
Fayustov A.A. 925, 945
Fedorov D.Yu. 136
Fedotova L.A. 908
Fedotova M.A. 947
Fedulov V.I. 948
Fedunin D.A. 398
Fershalov Y.Y. 198
Fertikov A.O. 197
Fetisov A.G. 353
Fetisov I.V. 110
Fetisov V.A. 67
Fetisova N.E. 949
Filin A.A. 119
Filinov E.P. 200
Filipenkov S.A. 50
Firsanov V.V. 32, 692, 779
Fisher M.D. 313
Fozilov T.T. 721
Frolov L.A. 172
Frolov V.P. 823, 949
Frolova N.A. 491

G

Gabuev V.V. 837
Gadelev R.R. 736
Galkin V.A. 421
Galkin V.I. 670
Galkina E.E. 861, 913
Galyuk N.A. 838
Ganyak O.I. 326
Garduño
Rodríguez Aaron 379
Gasanov M.F. 45
Gavriliak V.E. 773
Gavrilin K.B. 112
Gebhardt N. 234
Gektin Yu.M. 64
Gidaspov V.Y. 541
Ginzburg I.B. 254, 261
Gladkikh A.O. 101
Glushko A.N. 594
Goldovskiy A.A. 422
Golenko M.G. 542
Golikov N.S. 170, 223, 232, 537
Golovin D.V. 739
Goltsova T.Yu. 457
Golyaev Y.D. 289

Goncharenko V.I. 423
Goncharov M.G. 134
Gorbkov D.A. 854
Gordeev S.V. 148
Gordin M.V. 233
Gorelik A.G. 99
Gorelov A.O. 256
Gorelov B.A. 880
Gorikhovskii V.I. 543
Gorlov A.V. 658
Goyushova L.M. 839
Granko A.V. 224
Gribanov A.S. 452
Grigorenko N.S. 47
Grigoriev A.A. 138
Grigoryan A.K. 339
Grinev A.Y. 362
Gritchkin D.M. 52
Grunin A.N. 126
Grushin I.A. 660, 661, 698
Grushin M.E. 289
Guanghua Z. 768
Gudzenko S.G. 740
Gulyaev V.V. 841
Gumerova A.V. 62
Gureev I.I. 661, 704
Gurkina E.D. 662, 698
Gurov V.A. 842, 950
Guryanov A.I. 164
Gusak L.A. 591
Gusev E.L. 544
Gushchin K.V. 830
Guskov A.A. 310

H

Hamadov R.R. 398
Harchenko R.V. 147
Hegaj E.I. 624
Hizriev K.G. 106
Hoang Vu Tan 323, 625
Holobtsev D.P. 237
Hopin P.N. 707
Huang C.P. 608
Hussein S.M.R.H. 601

I

Iakovets M.A. 161
Ibanov B.S. 642
Ibragimov D.N. 461
Ignatkin Yu.M. 12, 23, 26
Igonin D.M. 462, 466
Ilyenya M.Y. 159

- Ilyinskaya O.I. 159
 Indyukhin A.F. 556
 Inh Binh 947
 Ionov A.V. 124, 175
 Jordan Y.V. 383
 Iosifov P.A. 748
 Ipatov M.S. 161
 Irbitskiy I.S. 449, 463
 Irgaleev I.Kh. 53, 58
 Iroshnikov A.I. 675
 Isachenko I.A. 761
 Isaev V.V. 265, 266
 Ismailov K.K. 60
 Israilova N.N. 741
 Iuvshin A.M. 808
 Ivanishin A.A. 441
 Ivanov A.A. 550
 Ivanov A.E. 671, 688, 698
 Ivanov A.V. 573, 642
 Ivanov D.Y. 57
 Ivanov I.E. 551
 Ivanov I.G. 169, 177
 Ivanov V.Yu. 906
 Ivanova G.A. 838
 Ivanova O.A. 535
 Ivanyukhin A.V. 386
 Ivchin V.A. 18
- J**
 Jelanov S.A. 270
 Jiajie Luo 517
- K**
 Kabanov A.S. 861
 Kabanov D.S. 267
 Kabanov S.A. 267
 Kabov O.A. 231
 Kachurina E.S. 492
 Kadilnikova E.N. 268
 Kagenov A.M. 60
 Kalachanov V.D. 269
 Kalashnikov A.I. 61
 Kalenik A.V. 439
 Kalimullina E.R. 939
 Kalinchuk V.V. 801
 Kaloshina M.N. 837, 855
 Kalugina G.A. 862
 Kalutskiy N.S. 798
 Kalyagin M.Yu. 42, 90
 Kalyazin V.G. 162
 Kandyba K.S. 346
 Kanev S.V. 148
 Kanishchev O.A. 553
 Kaplunov I.A. 672
 Kapralova A.S. 187
 Kapustin A.I. 853
 Karapetyan T.S. 62, 63
 Kargaev M.V. 465
 Karpechenko A.G. 550
 Karshanov I.F. 49
 Kartashov E.M. 480
 Kartukov A.V. 260
 Kartushina N.V. 863
 Kasafikov N.N. 270
 Kashcheev I.S. 124
 Kashirin D.A. 151
 Kassin D.V. 163
 Kaybeleva V.R. 858
 Kazantsev S.A. 681
 Kepman A.V. 728, 794
 Khakimov A.V. 33
 Khamidullin O.L. 687
 Kharin E.G. 504
 Kharitonov A.I. 321
 Kharitonov A.B. 329
 Kharlamov A.N. 333
 Kharlov S.A. 148, 173, 184
 Khaustov A.I. 533
 Khmelevsky A.N. 138
 Kholostova O.V. 505
 Khomchenko A.V. 506
 Khomich V.Yu. 784
 Khomich Yu.V. 672
 Khomutskaya O.V. 324
 Khorev T.S. 111
 Khoroshko A.L. 321, 325
 Khoroshko L.L. 325
 Khotkina E.S. 928
 Khristoforova N.I. 951
 Khromov A.V. 737
 Khrustalev A.L. 507
 Khvan A.V. 842, 950
 Kim V.P. 157, 162
 Kim V.V. 584
 Kimyaev A.I. 427
 Kirillin A.V. 748
 Kirillov V.Yu. 271, 294
 Kirillova A.M. 864, 904, 914
 Kiryushkina N.V. 918
 Kiselev F.B. 634
 Kishov E.A. 762, 781
 Kisiev A.P. 749
 Klementyev P.D. 634
 Klesareva M.V. 774
 Klimenko D.V. 193
 Klimov I.S. 112
 Klyagin V.A. 10
 Klyuev A.Y. 164
 Kniga V.S. 258
 Knyazev K.A. 674
 Knyazev M.I. 660
 Kochetkov A.A. 374, 395
 Kochurova N.I. 21
 Kogan E.A. 866
 Kolbasov V.N. 327
 Kolesnikov A.V. 400
 Kolganov L.A. 306
 Kolganov P.A. 462, 466
 Kolokolnikov F.A. 428
 Kolomentsev A.I. 133
 Kolomoets E.N. 867
 Kolomytsev K.A. 656, 671
 Kolotenko I.R. 689
 Kolpakov A.M. 65
 Komarov A.A. 186
 Komarova N.V. 868
 Kondarattsev V.L. 554
 Kondrashov Y.N. 274
 Kondratov A.V. 193
 Kondratsky I.O. 751
 Kondratyev D.V. 870
 Konovalova A.A. 910
 Konovalova O.V. 931
 Konovalova S.V. 872
 Konovalova V.G. 871
 Konovalyuk M.A. 354
 Konstantinov I.A. 874
 Konstantinov M.S. 406, 413
 Konstantinov S.G. 26
 Konyukhov I.K. 66
 Koptev D.S. 19
 Korchagin A.A. 876
 Korchagova V.N. 559
 Koreshkov A.V. 681, 753
 Kornev A.V. 600
 Kornoukhova N.S. 654
 Korobkov K.A. 275
 Korobkov M.A. 266
 Korolev D.D. 167
 Korolev I.A. 467

- Koroliskii V.V. 735, 742
 Korotaeva I.E. 817, 956
 Korotkov A.I. 398
 Korotkov O.V. 257
 Korotun V.L. 833, 875
 Korshunov V.N. 198
 Korsun O.N. 557, 582
 Korzhuk N.L. 556
 Korzun F.A. 35
 Kosareva A.A. 543
 Koshelev A.S. 877
 Koshelev B.V. 88
 Koshelev K.B. 614
 Koslovtssev S.A. 936
 Kosorukova O.V. 486, 677, 709
 Kostikov Y.A. 299
 Kostin A.S. 67
 Kostin I.D. 69, 70
 Kostin V.A. 676, 754
 Kostishin M.O. 288
 Kostiyushin K.V. 60
 Kostrygin D.G. 69, 70
 Kostyushin K.V. 560
 Kotelnikov M.V. 384, 385
 Kotelnikov V.A. 384, 385
 Kotov V.V. 486, 677, 709
 Kotovich I.V. 52
 Koval N.A. 273
 Koval S.N. 165
 Kovalev A.O. 64
 Kovalev F.A. 64
 Kovalev I.I. 376
 Kovanov A.E. 675
 Kozelkov A.S. 600, 615
 Kozhevnikov G.D. 178, 192
 Kozlov M.V. 737
 Kozlov N.A. 750, 800, 806
 Kozlova E.G. 947
 Kozlovsky A.V. 349
 Kozub S.S. 214
 Kraev V.M. 132, 878
 Kraposhin M.V. 538, 562, 632
 Krasavin E.E. 469
 Krasilnikov P.S. 563
 Krasnikov V.S. 565
 Krasnikova R.V. 11
 Krasnoperov E.P. 226
 Krasnyanskiy D.E. 879
 Krasova S.I. 11
 Kravchenko E.A. 769
 Kravchenko V.S. 386
 Kravchunovskiy A.P. 468
 Krioukov V.G. 568
 Krit B.L. 751
 Krivilev A.V. 424
 Krotov K.V. 567
 Krugov A.A. 37, 114
 Krylov A.A. 276
 Krylov Y.V. 755
 Kryukov I.A. 551
 Kubatina E.P. 678
 Kuchmiy A.D. 364
 Kudashov N.V. 262
 Kudinov I.D. 347
 Kudryavtsev D.A. 22
 Kudryavtseva N.S. 371
 Kudyakin R.A. 880
 Kuklin V.A. 601
 Kukovinets A.V. 628
 Kukushkin D.Y. 236
 Kulikov V.V. 737
 Kungurtseva E.G. 756
 Kuprikov M.Yu. 91, 234
 Kuprikov N.M. 91, 234
 Kupriyanov S.A. 78, 101
 Kupriyanova Y.A. 758
 Kurbanov R.K. 56, 73
 Kurbatov A.S. 759, 760, 761
 Kurbatov P.A. 225
 Kurbatova E. 225
 Kurennykh A.E. 470
 Kuris E.D. 74, 104, 114
 Kuritsyn D.N. 681, 682
 Kuritsyna V.V. 681, 682
 Kurkin E.I. 762, 780, 792, 803
 Kurmazenko E.A. 387, 401
 Kurs K.E. 122, 168
 Kushchev N.P. 883
 Kushvakha K.N. 882
 Kuskova A.N. 471
 Kustova E.V. 543
 Kuydin M.A. 254
 Kuzin R.V. 71
 Kuzminsky A.E. 902
 Kuznetsov A.E. 64
 Kuznetsov A.S. 278
 Kuznetsov A.V. 680, 797
 Kuznetsov D.F. 570
 Kuznetsov E.B. 485, 508
 Kuznetsov I.M. 263, 279, 302
 Kuznetsov M.D. 570
 Kuznetsov N.V. 55
 Kuznetsov P.M. 250
 Kuznetsov Yu.V. 354
 Kuznetsova A.V. 929
 Kyaw Y.K. 723
- L**
- Laptev I.N. 642
 Larin A.A. 763
 Larin S.N. 344
 Larina E.V. 551
 Larionov I.S. 734
 Latypov E.R. 884
 Latypov F.T. 565, 571
 Lazarevich O.A. 348
 Lebedev A.K. 765
 Lebedev A.V. 423
 Lebedevs I. 766
 Lebedkin I.F. 499
 Lekanov M.V. 473
 Lelkov K.S. 74, 114, 280
 Lemtyuzhnikova D.V. 347, 348, 349
 Lenkovets A.S. 689
 Lensky A.E. 789, 807
 Leonov S.S. 508
 Lepeshkin A.R. 159, 241, 768
 Lesik E.S. 886
 Lesnevskiy L.N. 167, 178
 Levchenkov M.D. 767
 Levin M.P. 573
 Li J. 193
 Li Mingzhi 515
 Lifanov I.P. 731
 Liqiang Hou 514
 Liu Jiaqi 514
 Liu Zhe 281
 Ljubisa Papic 747
 Lobanov A.A. 684

Lobanov A.V. 586
Loginov M.Y. 474
Losev V.A. 350
Lozovan A.A. 689
Lukashov V.A. 75
Lukhanin V.O. 685
Lukicheva V.Yu. 831
Lukyanov O.E. 762, 803
Luneva A.A. 481
Lupachev D.K. 716
Lwin K.Z. 236
Lyakhovetsky M.A. 167
Lyalikova D.A. 888
Lyapin N.A. 76
Lyapina S.Y. 889
Lyapustina N.G. 936
Lysenko V.V. 227
Lyssakov N.D. 887
Lyssakova E.N. 887

M

Maciejewski Andrzej 515
Madiyarova G.M. 687
Makarenko A.V. 421
Makarenkov D.A. 595
Makarov D.A. 892
Makarova A.S. 542
Makashov A.A. 283
Makeev P.V. 12, 23, 26
Makhniuk K.B. 78
Makhorin A.O. 301
Maksimova A.A. 706
Maksimova N.K. 906
Makurin M.M. 284
Malinovsky I.M. 169, 177
Malinskiy T.V. 672
Malshakov G.V. 286
Malyasov A.A. 24
Malyshev V.V. 64, 356
Malyutina O.A. 894
Mamchenko V.A. 108
Mamonov A.V. 675
Mandrakov E.S. 287
Mantrova Y.V. 471
Markeev A.P. 510
Markelov V.V. 288
Markiewicz P. 25
Markin O.V. 769
Markina A.D. 895
Markov B.A. 604
Martirosov D.S. 156, 314

Martirosov M.I. 506
Martynyuk L.A. 170, 770
Masich I.S. 577
Maskaykina A.A. 772
Maslov S.A. 78, 101
Matasov A.V. 542
Matsera M.S. 351, 359
Matsykin S.V. 242
Matushkin A.A. 172
Maurina T.S. 896
Maximov A.N. 576
Mayborodin A.B. 891
Mayer A.E. 473, 565
Mayorov N.N. 67
Mazaew A.S. 574
Mazen O. 775
Mazikin S.V. 224
Mazlumyan G.S. 388, 410
Mazurok B.S. 663
Medvedev A.A. 289
Medvedev A.M. 324
Medvedsky A.L. 506
Medvetskova V.M. 751
Meldianova A.V. 900
Melik-Aslanova N.O. 899
Melnikov A.V. 173, 180, 184
Melnikova D.D. 671, 688, 699
Melnikova V.G. 614
Melyukov S.A. 327
Menshakov I.A. 142
Men'shova I.I. 553
Menyaylo M.Y. 16
Merkishin G.V. 260
Merkurev D.V. 162, 185
Mescheryakov V.Y. 172
Meshalkin V.P. 444
Meshankov D.V. 901
Messineva E.M. 353, 717
Metelnikov A.A. 174
Mezina N.A. 850, 858, 897
Mikhailin D.A. 423
Mikhaylov A.A. 902, 933, 948
Mikilyan M.A. 527
Mikolutskiy S.I. 672
Mikryukov N.V. 158

Minasyan V.B. 290
Minin A.K. 175
Minina N.A. 665
Mirovoy Y.A. 652
Mitin D.E. 63, 93
Mitin F.V. 292
Mitrofanov A.L. 689
Mitrofanov O.V. 773, 774, 775, 776
Mitrofanov S.Y. 293, 428, 578
Mladenovic Nenad 579, 580
Mochalova Y.D. 478
Mogulkin A.I. 184
Moiseev D.V. 61, 79
Moiseev M.D. 261
Mokhov A.I. 574
Mokrova M.I. 80
Mokryakov A.V. 449, 457, 463, 475
Molotov A.A. 499
Monakhova V.P. 904
Mordakin B.Y. 477
Moroz O.Yu. 694
Morozov A.Yu. 581
Morozov P.A. 82
Morzhukhin A.M. 390
Morzhukhina A.V. 390
Moshkov P.A. 83
Moshkunov S.I. 233
Moskvicheva E.D. 720, 777
Moskvicheva N.V. 827
Muisin A.R. 778
Mukhina A.M. 774
Mulin P.V. 40, 84
Muradova N.M. 871
Muraveva N.V. 905
Muravyev A.S. 328
Murmanceva E.Y. 913
Mustaev I.Z. 906
Mustaev T.I. 906
Myo Z.A. 479

N

Nadiradze A.B. 139
Namestnikov A.A. 921
Naoumov V.I. 568
Nasonov F.A. 643, 676, 727, 754, 788
Nazarenko A.B. 931
Nazarov A.D. 907, 955
Nazarov A.S. 85, 87

- Nazarov A.V. 650, 690, 710
 Nazarov E.V. 65
 Nekhrest-Bobkova A.A. 909
 Nekrasov V.V. 295
 Nenakhov E.V. 480
 Neretin E.S. 428
 Nerutskaya A.V. 701, 711
 Nesterenko A.N. 186
 Nesterenko V.G. 130, 169, 177
 Netelev A.V. 390, 391
 Netrebskaya O.N. 429
 Neverova N.V. 908
 Neypert T.A. 693
 Nguyen L.L. 692, 779
 Nguyen V.V. 294
 Nigmatzhanov V.V. 180, 184
 Niki forov A.S. 796
 Niki forov P.V. 790
 Nikitchenko Yu.A. 448, 469
 Nikitenko A.I. 114
 Nikitin S.O. 26
 Nikolaev A.V. 99
 Nikolaev I.A. 178
 Nikolaev S.V. 557, 582
 Nikolaychuk G.A. 694
 Nikolskaya E.E. 838
 Nikulin E.N. 292
 Nikulina E.N. 910
 Nilov A.N. 284
 Niu Han 514
 Norinskaya I.V. 310
 Noskova K.R. 179
 Novikov A.D. 392
 Novikov A.S. 938
 Novikov A.Y. 296
 Novikov D.K. 203
 Novikov I.S. 844
 Novikov S.V. 912
 Novikov V.D. 393
 Nurutdinova A.R. 630
 Nuzhnov M.S. 354
- O**
- Obolenskiy V.Y. 431
 Obruchev I.A. 432
 Obukhov V.A. 173, 180
 Odintsova E.I. 864, 904, 914
- Ofitserov V.P. 297
 Ognev V.A. 257
 Ogorodnikov S.S. 913
 Okhotnikov D.A. 452
 Oleinik A.V. 697
 Olotin S.V. 186
 Omar H.H.O. 182
 Openkin A.V. 172
 Orlov A.A. 661, 698
 Orlov S.A. 60
 Osipov M.A. 228, 230
 Osipov V.V. 242
 Ostanko D.A. 600
 Ostriki A.V. 584
 Ovcharova P.A. 647, 668
 Ovchinnikov A.V. 695
 Ovsyannikov M.O. 37
- P**
- Pachina A.V. 682
 Padalko S.N. 301, 311
 Pahunov A.S. 118
 Paing S.T. 396
 Palamarchuk A.G. 916
 Paleskin A.V. 400
 Paltievich A.R. 699
 Panfilov A.S. 418
 Panteleev A.V. 481, 483, 484, 527, 586
 Papic L. 748
 Parafes S.G. 397, 758
 Parkhaev E.S. 21
 Pasechnikov I.I. 85, 87
 Pasechnikov R.I. 85
 Pashin T.P. 380
 Pashkevich D.S. 746
 Pashkova N.D. 200
 Pashkovskaya E.A. 475
 Pastuhov V.I. 314
 Pastushenko O.V. 415
 Patrushev A.Y. 700
 Pavlov A.A. 780, 781
 Pavlov A.V. 395
 Pavlov K.A. 183
 Pavlov O.V. 78
 Pavlov V.Y. 298, 299
 Pavlova S.A. 781
 Payson D.B. 71
 Pchelintseva V.D. 925, 945
 Pchelnikov A.V. 695
 Pechenyuk V.S. 27, 93
 Permyakov A.P. 741
 Petrov I.A. 721
- Petrov R.A. 716
 Petrova E.N. 190
 Petrukhin V.A. 88
 Petukhova O.S. 701, 711, 712
 Peysakhovich O.D. 173, 184
 Pham V.T. 32
 Phomina V.M. 654
 Pichuzhkin P.V. 398
 Pisarev P.V. 756, 783, 785
 Privovarov D.E. 485
 Platonov M.A. 384, 385
 Pleshakov A.I. 145
 Plokhikh A.P. 185
 Proskov S.Yu. 29
 Podgornykh R.O. 186
 Podkorytov A.N. 355
 Podlesnaya A.O. 917
 Podshibnev V.A. 433
 Pogorelko V.V. 565
 Pokhodenko M.V. 422, 435
 Pokrovskii S.V. 703
 Poliev A.V. 557
 Polishchuk N.V. 918
 Ponomarev P.A. 90
 Ponyaev L.P. 91, 234, 237
 Popov A.M. 69, 70
 Popov D.A. 376
 Popov G.A. 151, 180
 Popov Yu.I. 27
 Potapova Z.E. 587, 590
 Pozhidaev A.A. 192
 Pozhidaev E.P. 680, 797
 Pravido M.N. 351, 359, 422
 Priorov G.G. 589
 Pristupova Y.S. 783
 Prodanik V.A. 35
 Prokhorov K.O. 591
 Prokopenko D.A. 30, 921
 Pronin S.R. 677
 Pronina P.F. 382, 400
 Pronkin A.N. 263, 279, 302
 Proshkin V.Yu. 387, 401
 Prosvirina N.V. 922
 Protasov V.I. 587, 590
 Prozorov D.E. 920

Przybylska Maria 516
Pushkarev M.D. 924,
936
Pushkareva M.B. 924
Puzanov A.V. 486, 677,
709

R

Rachkov A.A. 596
Rachuk V.S. 134
Rakitina M.V. 274
Rakityansky V.M. 483
Ramazanova D.R. 390
Rasskazova V.A. 593
Ratkin I.M. 594, 595
Ratnikov M.O. 303
Ravikovich Yu.A. 152,
237, 745
Razumov D.A. 356
Rebrov I.E. 784
Remchukov S.S. 241,
768
Remizov A.E. 147
Reshetnikov D.A. 426
Reviznikov D.L. 581,
611
Reznichenko G.M. 793
Rodchenko V.V. 382
Rodnikov A.V. 488
Rogalin V.E. 672
Rogozhina L.A. 926
Roman K.V. 785
Rozhkov K.A. 715
Rudnev I.A. 228, 230,
703
Rulevskiy V.M. 496
Rumakina A.V. 423
Russkikh S.V. 402
Ryabinkin 306
Ryabkova G.V. 929
Ryakhovskiy A.P. 647
Rybakov A.S. 227
Rybakov D.V. 45, 87
Rybakov V.A. 380
Rybakova L.V. 928
Rybolovlev M.S. 786
Ryzhkov B.V. 305
Ryzhova E.S. 776

S

Sabirzyanov R.R. 687
Sachkov L.S. 95
Sadretdinova E.R. 382
Saevets P.A. 186

Safronov M.Y. 949
Safronova K.P. 379
Safuanov R.R. 190
Saidov S.A. 519
Saitov R.I. 444, 598
Sakhabutdinov A.Zh.
601
Sakhabutdinova G.I.
601
Salamatin V.S. 788
Salienko N.V. 789, 800,
802, 807
Salikhov A.R. 334
Salnikov A.F. 190
Salnikov N.A. 404
Samokhin V.F. 83
Samoylovskiy A.A. 93
Samsonovich S.L. 433,
438
Sannikov Yu.I. 436
Saprykin O.A. 439
Sarazov A.V. 600
Sataeva N.E. 666
Savchenko B.S. 454,
489
Savchenkov D.V. 703
Savchuk A.T. 188
Savelev A.S. 420
Savelov V.A. 187
Savelova K.E. 187
Savelyev R.S. 158
Savelyev S.A. 92
Savilkin S.B. 224, 242
Savin A.A. 597
Savkin A.V. 306
Savkin N.V. 930
Savosin I.V. 307
Savostin D.S. 662, 704,
712
Saypulaev M.R. 490
Sazhenkov N.A. 796
Sazonova T.V. 118
Scarfe T. 609
Sdobnov A.G. 299
Selivanov S.E. 780, 781
Selivanova V.A. 440
Seliverstov S.D. 178
Sembiyev O.Z. 603
Semenchikov N.V. 21
Semenikhin S.A. 151
Semenov A.S. 441
Semina A.P. 931
Semina M.V. 247

Semivelitchenko E.A.
906
Serebryakov A.S. 97
Sergeev S.A. 347
Sesyukalov V.A. 406
Sevastianova T.V. 405
Sgonov N.M. 705
Shabanov V.B. 115
Shadrin M.Y. 663
Shakhov A.S. 152, 745
Shalagin S.V. 630
Shalashov M.A. 412
Shaposhnikov E.S. 202
Sharoiiko E.A. 928
Sharov K.I. 806
Shatalin A.A. 807
Shatskiy M.V. 632
Shavin M.Y. 116
Shcheglova E.V. 387
Shcherbakov A.I. 35
Shelkov K.A. 735
Sheludko L.N. 957
Shemonaeva E.S. 719
Shershunova E.A. 233
Sheshenin S.V. 634
Shevchenko V.V. 413
Shevchuk A.A. 415
Shevtsov S.N. 608, 801
Shibaev V.M. 37, 118
Shilov E.A. 157, 162
Shilov S.O. 185
Shipunov G.S. 739
Shishkanov N.V. 675
Shishkina D.A. 687
Shkaberina G.S. 635
Shklyarchuk F.N. 402
Shleenkin L.A. 281
Shliandina N.S. 203
Shmatov D.P. 134
Shmyrova A.V. 664
Sholokh L.S. 958
Shomov A.I. 23
Shrager G.R. 532
Shramko K.K. 119
Shufan Wu 514
Shukalov A.V. 288
Shustov S.A. 637
Shuvalov V.I. 214
Shvetsov A.V. 117
Shvetsova S.V. 117
Sidikova A.I. 604
Silchenko O.B. 706,
707, 790

- Siluyanova M.V. 126,
 129, 197
 Simakov A.L. 709
 Simakova A.V. 854
 Simdikov A.Y. 98
 Sinelnikov A.O. 289, 949
 Sinyakin V.P. 191
 Sirotinskij E.A. 357
 Sitnikov N.M. 99
 Sivakova T.V. 495, 617
 Skachko G.A. 934
 Skleznev A.A. 791
 Skorik A.V. 879
 Skorobogatykh I.V. 479
 Skovorodkin E.A. 143
 Skvortsova A.A. 438
 Sladkov I.S. 170, 223,
 232, 537
 Sladkov R.I. 349
 Slav S.I. 868
 Sleptsov V.V. 224, 242
 Slusarev A.A. 806
 Smagin A.A. 100
 Smagin D.I. 158
 Smerschinskaya S.O. 491
 Smirnov K.K. 650, 710
 Smirnov P.S. 618
 Smirnova E.A. 701, 711
 Smirnova T.S. 902, 933
 Snezhina N.G. 608
 Sobol V.R. 497
 Sobolev A.V. 454, 489
 Sokolsky A.M. 265, 309
 Sokolsky M.L. 309
 Sokolyansky V.P. 16
 Sokuler M.S. 523
 Soldatenkov I.S. 261
 Solodovnikov U.V. 45
 Soloshenko V.N. 93
 Soloviev M.S. 405
 Solovyev V.A. 737
 Solovyov A.S. 662, 704,
 712
 Solovyova Yu.B. 665
 Solyaev Yu.O. 723
 Sopin S.V. 492
 Sorokin A.E. 373, 861,
 905
 Sorokin V.A. 136
 Sosedko K.A. 295
 Soshnikov D.V. 609
 Sosnov O.R. 78, 90, 101
 Sova A.N. 388, 410
 Speransky K.A. 671, 714
 Spirin A.A. 310
 Spirina M.O. 780, 792
 Spitsa A.V. 407
 Sposobin A.V. 611
 Stankevich A.M. 301,
 311
 Starikovskii A.S. 228,
 230
 Starkov I.N. 715
 Starodumov A.V. 169
 Starostina E.A. 793
 Startsev V.A. 804
 Stenina T.V. 573
 Stepanenko A.Y. 358
 Stepanenko V.A. 358
 Stepanov D.V. 408
 Stepanova G.V. 408
 Stets A.A. 494
 Stokolesov M.S. 612
 Stolyarchuk V.A. 313
 Stotsky E.A. 103
 Strelets M.Yu. 615
 Strijhak S.V. 573, 614
 Strizhius V.E. 716
 Strogonova L.B. 379
 Strokach E.A. 137, 192,
 195
 Struchkov A.V. 615
 Stulovski A.V. 582
 Sudakov V.A. 470, 495,
 591, 616, 617, 618, 619
 Sudukova K.A. 717
 Suhorukov M.P. 496
 Sukhov G.A. 621
 Suleymanov I.M. 314
 Surkov D.A. 74, 104,
 105, 280
 Surkova E.V. 934
 Svinin S.V. 96
 Sviridov A.G. 769
 Sviridov I.E. 134
 Svochina V.V. 180
 Sychev A.V. 31
 Syzdykov A.B. 315
- T**
- Tabunov V.S. 670
 Takh V.H. 71
 Talalaeva P.I. 170, 223,
 232, 537
 Tanana V.P. 604
 Tanskaya D.V. 899
 Taranenko A.V. 935
 Tararin A.M. 106
 Tarasenko A.S. 719
 Targamadze D.S. 421
 Tarshina V.A. 274
 Tavitskiy V.A. 78, 101
 Temmoeva F.M. 409
 Teplyshev V.Y. 936
 Terekhin O.V. 335
 Terekhov V.E. 794
 Terentev M.N. 283
 Terentyev V.V. 243
 Tezikov S.E. 107, 128
 Tiaglik M.S. 53, 58
 Tikhonov A.I. 812, 819,
 901, 912, 938
 Tikhonov G.V. 939
 Tikhonova A.A. 796
 Timofeev A.N. 674
 Timofeev I.A. 804
 Timofeev P.A. 674
 Timushev S.F. 193
 Tishchenko D.Yu. 351,
 359
 Titova A.S. 366
 Tiumentsev Yu.V. 462,
 466
 Tkachenko A.Yu. 182
 Tkachenko L.M. 214
 Tkachenko O.I. 326
 Tkachenko T.P. 680,
 797
 Tkhomirov I.A. 841
 Tokarev A.V. 270
 Tokareva E.M. 940
 Tolstel O.V. 439
 Tolstikhin D.S. 682
 Tolstov K.V. 550
 Tolstykh S.A. 316
 Torgaeva D.S. 496
 Torishniy R.O. 497
 Torlupa A.A. 271
 Toropylina E.Yu. 720,
 777
 Tovbis E.M. 635
 Trefilov P.M. 108
 Tregubenkov S.Y. 880
 Tretiyakova O.N. 499
 Trifonov I.V. 110
 Trofimov Y.V. 318
 Trubcheninova A.A.
 941
 Trubnikov A.A. 426
 Tsapko E.D. 508

Tsigankova L.P. 198
Tsitovich A.A. 362
Tsvetkov M.B. 626
Tsyrov R.A. 236
Turbin N.V. 749, 798
Turkin I.K. 397
Turko V.P. 766
Tyaglik M.S. 14, 15, 35
Tyapkin P.S. 361
Tyryshkin I.M. 155
Tyulkov K.V. 137, 195

U

Udodov A.N. 943
Ukolova L.E. 944
Uliakhin A.V. 690
Ulyanov D.V. 109, 280
Urbaha M. 766
Uryupin I.V. 500
Ushakov A.N. 105
Ushakov V.A. 319
Usovik I.V. 501
Uss A.Y. 196
Ustinov A.A. 800
Ustinov S.M. 307

V

Vakulchuk V.I. 370
Valieva Y.A. 609
Valiullin V.V. 139
Valkov V.V. 298
Valyaev O.A. 378
Vardanyan I.A. 527
Varfolomeev M.S. 640
Varyukhin A.N. 233
Vasilenko A.G. 832
Vasilenko Yu.D. 707
Vasilevskiy D.O. 140
Vasiliev D.S. 109
Vasilyev F.V. 256
Vasin A.A. 335
Vasin Y.A. 379
Vatutin K.A. 538
Vazhenin N.A. 185
Vecherinina E.A. 833
Verbitckii A.B. 737
Veremeenko K.K. 263, 279, 343
Vereschaka S.K. 331
Veretennikov S.V. 142, 143
Versin A.A. 144
Veselov A.V. 654
Videnin S.A. 577

Vinogradov R.E. 656, 661, 714
Vinogradov V.I. 443, 834
Vinogradova E.S. 145
Vitsukaev A.V. 336
Vlasova S.V. 835
Volkov A.M. 337
Volkov A.N. 738
Volkov A.V. 453, 525
Volkov D.A. 657, 658
Volkov D.R. 338
Volkov E.V. 540
Volkov I.K. 331
Volkov M.V. 167
Volkovoy A.V. 110
Volodin I.M. 22
Voronka T.V. 15
Voronov V.V. 90
Vorontsova E.D. 896
Voroshilin A.P. 717
Vospitanyuk A.V. 85, 87
Vyatkov V.V. 147
Vyukov N.A. 454, 489

W

Wai Y.S. 455
Wang Ruoyu 516
Wenbin Song 517
Wu R.Z. 750, 751

X

Xianjun Yu 515, 516
Xu Wu 726

Y

Yagudin T.G. 701, 711
Yakovlev A.A. 83, 183, 188
Yakovleva A.A. 484
Yamshchikov V.A. 784
Yarimaka V.V. 940
Yaroshenko A.S. 700
Yaroslavskiy V.V. 296
Yaroslavtsev N.L. 241, 768
Yasentsev D.A. 363, 364
Yashin A.G. 121
Yasinskaya D.O. 831
Yastremskiy A.V. 638
Ykhov P.A. 717
Yuan Yuan 517
Yudin A.V. 801
Yudin V.N. 337, 339

Yudintsev A.G. 496
Yurin V.N. 724
Yushchuk R.V. 416
Yusipov B.H. 169

Z

Zabolotnaya E.P. 529
Zadachin A.V. 238
Zagidullin R.S. 853
Zagovorchev V.A. 382
Zaharov D.P. 177
Zaharova T.I. 670
Zaitceva I.S. 55
Zaitseva A.S. 746
Zakharchenko V.S. 157
Zakharov I.V. 426
Zakharova L.F. 854
Zakharova N.I. 56
Zaurbekov N.S. 548
Zaurbekova G.N. 548
Zaurbekova N.D. 548
Zavalov O.A. 50
Zavertkin S.A. 54
Zemlyanskaya A.P. 855
Zemskov A.V. 459, 549
Zevskov A.V. 502, 622
Zhabin A.I. 504
Zharikov K.I. 383
Zharinov O.O. 288
Zharkov M.V. 263, 279, 302
Zharkov Y.E. 784
Zhavoronok S.I. 759, 760
Zhelonkin V.I. 268
Zherebtsov R.V. 313
Zhigulin I.E. 666
Zhiltsov K.N. 155
Zhilyaev I.V. 608
Zhukov A.A. 680, 797
Zhukov E.Y. 668
Zhukov P.A. 271
Zhukovsky P.L. 669
Zhuravlev V.N. 156
Zimin R.Y. 343
Zinina A.I. 158
Zolotarev I.A. 593
Zotov A.A. 738
Zryachev S.A. 344
Zubanova S.G. 857
Zubeeva E.V. 850, 858, 897
Zueva T.I. 859
Zverev N.A. 459, 549

**19-я Международная конференция
«Авиация и космонавтика»
Тезисы**

**19th International Conference
“Aviation and Cosmonautics”
(AviaSpace-2020)
Abstracts**

Председатель Оргкомитета
Равикович Юрий Александрович
Учёный секретарь
Лунёва Надежда Сергеевна

Organizing Committee Chairman
Yury Ravikovich
Scientific secretary
Nadezhda Luneva



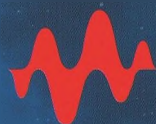
Подписано в печать 20.11.2020
Формат 148x210 мм
Бумага офсетная. Усл.-изд. л. 42,3
Тираж 500 экз. Заказ №1821

Отпечатано
Типография «Альф-Принт»
141400, г. Москва, Ленинградское шоссе, д. 266

Организатор | Organizer



Партнёр | Partner



KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

Контакты

125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Volokolamskoe shosse, 4, Moscow, 125993

aviacosmos@gmail.com

aik.mai.ru